

Institut für Obstbau und Gemüsebau  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
zu Bonn

---

***Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. beim Apfel:  
Bedeutung der Konidien als Primärinokulum, Einfluss auf die Knospen-  
entwicklung und Alternativen zum Kupfereinsatz bei der Kontrolle des  
Blatt- und Fruchtschorfbefalls**

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften  
(Dr. agr.)

der  
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät  
der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
zu Bonn

vorgelegt am 4. November 2002  
von  
Dipl.-Ing. agr. Christina Portz  
aus  
Vettweiss

## ***Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. beim Apfel: Bedeutung der Konidien als Primärinokulum, Einfluss auf die Knospenentwicklung und Alternativen zum Kupfereinsatz bei der Kontrolle des Blatt- und Fruchtschorfbefalls**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden zur Verbesserung der Kontrollmöglichkeiten des Apfelschorfs verschiedene Strategien untersucht:

Auch unter rheinischen Anbaubedingungen waren Primärinfektionen ausschlaggebend für die Befallsentwicklung und -intensität auf Blatt und Frucht während der folgenden Vegetationsperiode. Hohe Befallshäufigkeiten im Frühjahr führten zu einem hohen Prozentsatz befallener Früchte zum Erntetermin und verringerten den Anteil der Früchte in Handelsklasse I um 50%. Bereits vier Fungizidbehandlungen zu Beginn der Vegetationsperiode reichten aus, um die durch Fruchtschorf bedingten Verluste der marktfähigen Ware um mindestens 50% zu reduzieren.

Ascosporen stellen auch im Rheinland die bedeutendste Primärinokulumquelle im Frühjahr dar, können aber durch asexuelle Strukturen des Erregers *Venturia inaequalis* ergänzt werden. Mit Hilfe licht- und rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen wurden sowohl in und an Knospen als auch an Trieben des Apfels überwinternde Konidien sowie Myzel nachgewiesen. Konidien wurden im zeitigen Frühjahr in überwinternden Befallsstellen an Trieben und Knospenschuppen hauptsächlich neugebildet und überwinterten nur selten oberflächlich. Verschiedene Formen und Entwicklungsstadien des Triebsschorfs konnten rasterelektronenmikroskopisch in neuer Weise sichtbar und dessen Abhängigkeit von Apfelsorte und Überwinterungsbedingungen bestätigt werden.

*Venturia inaequalis* nimmt als biotischer Faktor auf zwei verschiedene Weisen Einfluss auf die Entwicklung von Blütenknospen beim Apfel. Ein direkter Befall der Knospen führte zu sehr früher und intensiver Befallsentwicklung an Blättern, Blüten und Früchten. Durch Reduktion der photosynthetisch aktiven Blattfläche als Folge sehr hohen Blattschorfbefalls wurde die Blütenknospenentwicklung indirekt negativ beeinflusst und um bis zu 30% reduziert. Eine Konkurrenz um Assimilate zwischen Blattwachstum und Knospenentwicklung konnte durch Blattdüngung mit Stickstoff kurzfristig gemildert werden.

Die zu erwartende gesetzliche Neuregelung der Kupferanwendung wird die zuverlässige Kontrolle des Apfelschorfs insbesondere im organischen Apfelanbau zukünftig erschweren. Nach Applikation eines  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates konnten unter kontrollierten Bedingungen Befallsreduktionen von 80% beobachtet werden. Die Veränderungen der Blattoberfläche bei behandelten Pflanzen verringerten sowohl die Retention der Konidien suspension als auch die Blattnässedauer. Die wenigen verbliebenen Konidien wurden in ihrer Keimfähigkeit nicht beeinflusst, aber ihr Keimschlauchwachstum wies als Folge der Behandlungen Modifikationen auf. Die Appressorienbildung, die Penetration, die subcuticuläre Entwicklung und auch die Sporulation waren deutlich reduziert.

***Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.: Significance of conidia as a source of primary inoculum, implications for bud development and alternatives for use of copper for control of leaf and fruit scab incidence**

In the study presented, various strategies for an improvement of the control of *Venturia inaequalis* were evaluated:

In the fruit growing region of Meckenheim (Bonn) primary infections are decisive for the intensity of scab incidence on leaves and fruits during the following growing season. Severe scab attacks at the beginning of the vegetation period resulted in strong reductions of fruit quality at harvest. Four fungicide applications were sufficient to decrease the amount of infected fruit significantly. Although treatments were restricted to the early vegetation period, significant differences in leaf and fruit scab incidence still could be established between untreated and treated trees at the end of the growing season, almost five months later.

Ascospores represented the most important source of primary inoculum in early spring in the region of Meckenheim (Bonn). In addition, overwintering conidia or mycelium of *Venturia inaequalis* were present. By means of light and scanning electron microscopy overwintering asexual structures on buds and twigs were identified and documented. Most of the examined conidia originated from overwintering lesions on twigs and outer bud scales. Different stages of wood scab could be exhibit in a new way by using scanning electron microscopy. It could be shown that the development of twig scab depended on apple cultivar and on the conditions during the overwintering of infected trees.

*Venturia inaequalis* may affect the development of apple buds in a direct or indirect way. Early scab incidence on leaves, flowers and fruits could be due to overwintering asexual structures of the pathogen being located on the outside or inside of the buds. Severe attack on the leaves may restricted the formation of flower buds for the following year by 30% due to the reduction of the photosynthetically active leaf area. Ammonium fertilizers could be used to decrease the competition between leaf growth and flower bud development for a limited time.

The expected ban of use for copper fungicides will aggravate the control of the disease in organic apple production. The application of  $\alpha$ -tocopherol on apple seedlings resulted in a reduction of scab incidence that amounted to 80%. Because of changes in leaf surface characteristics retention of conidial suspension and duration of leaf wetness were decreased. The conidia which remained on the treated leaves showed modifications in germ tube growth, development of appressoria and penetration of the cuticle. Subcuticular growth and subsequent sporulation of *Venturia inaequalis* were reduced.

## Inhaltsverzeichnis

### A EINLEITUNG

1	Bedeutung des Apfelschorfs.....	1
2	Entwicklung und Epidemiologie von <i>Venturia inaequalis</i> (Cke.) Wint. .	2
3	Überwinterungsformen von <i>Venturia inaequalis</i> (Cke.) Wint. ....	5
4	Einfluss des Apfelschorfs auf die generative Entwicklung von <i>Malus domestica</i> Borkh. ....	8
4.1	Blütenknospenentwicklung beim Apfel.....	8
4.1.1	Abiotische Faktoren.....	10
4.1.2	Biotische Faktoren.....	10
5	Kontrollmöglichkeiten des Apfelschorfs.....	11
5.1	Defensivstrategien.....	11
5.1.1	Fungizide und Resistenzmanagement.....	11
5.1.2	Biologische Verfahren.....	14
5.1.3	Züchtung resistenter Apfelsorten.....	14
5.2	Offensivstrategien.....	15
5.2.1	Chemische Verfahren.....	16
5.2.2	Biologische Verfahren.....	16
5.2.3	Phytopsanitäre Maßnahmen.....	17
6	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.....	18

### B BEDEUTUNG DES PRIMÄRINOKULUMS VON *VENTURIA INAEQUALIS* (CKE.) WINT. FÜR DIE BEFALLSINTENSITÄT WÄHREND DER VEGETATIONSPERIODE

1	Einleitung.....	20
2	Material und Methoden.....	21
2.1	Pflanzenmaterial und Versuchsstandort.....	21
2.2	Behandlungen und Applikationstechnik.....	21
2.2.1	Fungizide.....	21
2.2.2	Behandlungen.....	22
2.3	Wetterstation und Schorf-Warnsystem.....	23
2.4	Erfassung der Befallsentwicklung.....	24
2.4.1	Blattbefall.....	24

2.4.2	Fruchtbefall.....	24
2.5	Statistische Auswertung.....	24
3	ERGEBNISSE.....	25
3.1	Witterungsdaten und Infektionsperioden nach WELTE zur Zeit der Primärinfektionen von Ende März bis Ende Mai.....	25
3.2	Bedeutung früher Infektionen für die Entwicklung des Blatt- schorfbefalls und Möglichkeiten zur Kontrolle.....	26
3.3	Bedeutung früher Infektionen für die Entwicklung des Frucht- schorfbefalls und Möglichkeiten zur Kontrolle.....	30
3.4	Einfluss der Intensität des Blattschorfbefalls auf die Befallsent- wicklung von <i>Venturia inaequalis</i> im Folgejahr.....	36
4	Diskussion.....	39
5	Zusammenfassung.....	46
<b>C</b>	<b>ÜBERWINTERNDE KONIDIEN VON <i>VENTURIA INAEQUALIS</i> (CKE.) WINT. ALS PRIMÄRINOKULUMQUELLE IM RHEINLAND</b>	
1	Einleitung.....	47
2	Material und Methoden.....	48
2.1	Pflanzenmaterial, Pflanzenanzucht und Versuchsstandorte.....	48
2.2	Inokulumgewinnung und Inokulation.....	48
2.3	Erfassung der Keimfähigkeit und der Befallsentwicklung von <i>Venturia inaequalis</i> .....	49
2.3.1	Keimraten.....	49
2.3.2	Blattbefall.....	49
2.4	Lichtmikroskopische Untersuchungen.....	50
2.4.1	Probenahme und Fixierung.....	50
2.4.2	Schneide- und Färbetechnik und Mikroskopie.....	50
2.5	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	50
2.6	Statistische Auswertung.....	50
3	Ergebnisse.....	51
3.1	Vergleich des Infektionspotenzials von Ascosporen und Konidien.....	51
3.2	Einfluss niedriger Temperaturen auf die Keimung von <i>Venturia inaequalis</i> -Konidien.....	52
3.3	Einfluss niedriger Temperaturen auf die Befallsentwicklung von <i>Venturia inaequalis</i> .....	56

3.4	Überwinterung von <i>Venturia inaequalis</i> -Konidien unter Freilandbedingungen.....	57
3.5	Überwinterung von <i>Venturia inaequalis</i> an und in Apfelknospen...	58
3.6	Überwinterung von <i>Venturia inaequalis</i> an Apfeltrieben.....	62
4	Diskussion.....	68
5	Zusammenfassung.....	75

## **D VENTURIA INAEQUALIS ALS BIOTISCHER EINFLUSSFAKTOR DER KNOSPENENTWICKLUNG BEIM APFEL**

1	Einleitung.....	76
2	Material und Methoden.....	77
2.1	Pflanzenmaterial und Versuchsstandorte.....	77
2.2	Erfassung des Blattschorfbefalls.....	77
2.3	Behandlungen.....	77
2.4	Mineralstoffanalysen von Blättern und Früchten.....	78
2.5	Erfassung der Fruchtqualität.....	79
2.6	Knospenuntersuchungen.....	79
2.6.1	Lichtmikroskopie und Boniturschemata.....	79
2.6.2	Rasterelektronenmikroskopie.....	80
2.7	Blütenbonituren.....	80
2.8	Erfassung des Fruchtansatzes und des Ertrages.....	80
2.9	Statistische Auswertung.....	80
3	Ergebnisse.....	81
3.1	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Blatt- und Blütenknospen des Apfels am Ende und zu Beginn der Vegetationsperiode.....	81
3.2	Einfluss von Blattschorf auf die Blütenknospenentwicklung.....	82
3.3	Auswirkungen verschiedener Anbaumaßnahmen auf die Blütenknospenqualität.....	84
3.3.1	Ausdünnung von Blüten und Früchten.....	84
3.3.2	Blattdüngung mit Wuxal- und Harnstoff-Lösung.....	92
4	Diskussion.....	99
5	Zusammenfassung.....	108

## E ALTERNATIVEN ZUM EINSATZ VON KUPFERHALTIGEN PRÄPARATEN ZUR KONTROLLE VON *VENTURIA INAEQUALIS* (CKE.) WINT.

1	Einleitung.....	109
2	Material und Methoden.....	111
2.1	Pflanzenanzucht.....	111
2.2	Inokulumgewinnung und Inokulation.....	111
2.3	Erfassung der Befallsentwicklung und Konidienbildung.....	112
2.3.1	Befallsbewertung.....	112
2.3.2	Ermittlung der Sporulationsrate.....	112
2.4	Wirksubstanzen und Formulierungshilfsstoffe.....	113
2.4.1	$\alpha$ -Tocopherol.....	113
2.4.2	Formulierungen.....	113
2.4.3	Applikation.....	113
2.5	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	114
2.5.1	Erfassung von Oberflächenveränderungen.....	114
2.5.2	Quantifizierung des Ablaufens der Konidiensuspension.....	114
2.6	Lichtmikroskopische Untersuchungen der Pathogenentwicklung.....	114
2.6.1	Probenahme und Fixierung.....	114
2.6.2	Färbetechnik.....	115
2.6.3	Mikroskopie.....	115
2.6.4	Auswertung der <i>Pathogenentwicklung von Venturia inaequalis</i> .....	116
2.6.4.1	Keimung und Keimschlauchwachstum.....	116
2.6.4.2	Appressorienbildung.....	116
2.6.4.3	Entwicklung von <i>Venturia inaequalis</i> in Apfelblättern.....	116
2.7	Statistische Auswertung.....	117
3	Ergebnisse.....	118
3.1	Wirkung von $\alpha$ -Tocopherol-Präparaten auf die Befallsentwicklung von <i>Venturia inaequalis</i> .....	118
3.1.1	Wirksamkeit verschiedener $\alpha$ -Tocopherol-Präparate.....	118
3.1.2	Einfluss der $\alpha$ -Tocopherol-Konzentration auf die Wirksamkeit.....	119
3.1.3	Wirksamkeit von $\alpha$ -Tocopherol.....	120

---

3.1.4	Wirksamkeit der lecithinhaltigen Formulierung.....	121
3.2	Oberflächenveränderungen als Folge der Applikation von $\alpha$ -Tocopherol.....	121
3.2.1	Modifikationen der Blattoberflächen durch $\alpha$ -Tocopherol....	121
3.2.2	Retention der Konidiensuspension nach $\alpha$ -Tocopherol- Applikation.....	123
3.3	Infektionsverlauf von <i>Venturia inaequalis</i> nach Behandlung mit $\alpha$ -Tocopherol.....	124
3.3.1	Keimung und Keimschlauchwachstum.....	124
3.3.2	Appressorien- und Primärstromabildung.....	128
3.3.3	Besiedelung und Sporulation.....	129
4	Diskussion.....	132
5	Zusammenfassung.....	139
<b>F</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>140</b>
<b>G</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>143</b>
	<b>DANKSAGUNG</b>	
	<b>LEBENS LAUF</b>	



## A Einleitung

### 1 BEDEUTUNG DES APFELSCHORFS

*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint., der Erreger des Apfelschorfs, verursacht weltweit eine der wichtigsten Pilzerkrankungen im Apfelanbau der gemäßigten Klimate (MACHARDY 1996). Reduzierte Blattmasse, vorzeitiger Fruchtfall, eine deutliche Qualitätsminderung der Früchte und erhöhte Lagerverluste sind als mögliche Folgen dieser Krankheit zu nennen. In Regionen mit nassen und kühlen Frühjahren können Ertragsverluste von bis zu 70% auftreten. Diese Verluste resultieren einerseits aus einer direkten Reduktion der Erntemenge durch geringeren Fruchtertrag und geminderte Fruchtqualität. Andererseits können aber auch bei sehr hohen Befallsintensitäten Erntemengen über mehrere Jahre indirekt durch wiederholte Verringerung der Blattmasse und eine sich daraus ergebende Schwächung des Baumwachstums dezimiert werden, wobei diese Schäden nur selten als lebensbedrohlich für den Baum erachtet werden (KENNEL u. MOOSHERR 1983, JONES 1998, MACHARDY et al. 2001).

Bei Marktübersättigung, wie sie heute aufgrund hoher Importmengen aus Neuseeland und Südamerika häufig zu beobachten ist, sind nur sehr gute Fruchtqualitäten handelsfähig. Beim Kernobst zählt nicht mehr die Gesamtertragsleistung sondern die Ausbeute von Früchten erster Qualität (SCHUMACHER et al. 1993, LAFER 2000). Einzige Ausnahme stellt die Direktvermarktung von Früchten der organischen Produktion dar, da der Verbraucher hier kleine Schorfflecken akzeptiert (HÖHN u. WEIBEL 1997).

Apfel stellt nach Zitrusfrüchten und Bananen die dritthäufigst produzierte Obstart weltweit dar. Aus diesem Grund ist Apfelschorf seit seiner ersten Beschreibung durch FRIES im Jahre 1819 das Forschungsobjekt zahlreicher Studien. Aufgrund der intensiven Forschungsarbeit während der vergangenen 120 Jahre ist eine zufriedenstellende Kontrolle der Erkrankung möglich. Eine dauerhafte Lösung des Problems konnte aber bislang nicht erzielt werden. Immer wieder werden periodische Ausbrüche des Erregers beschrieben, welche u.a. auf die Entstehung von Fungizidresistenzen von *Venturia inaequalis* oder den Zusammenbruch der Resistenz schorffresistenter Apfelsorten zurückgeführt werden können (KÖLLER 1994, PARISI u. LESPINASSE 1996, KÖLLER et al. 1997, JONES 1998, URBANIETZ et al. 1999). Aufgrund der hohen Anpassungsfähigkeit des Erregers an wechselnde Umweltbedingun-

gen besteht trotz der bisher durchgeführten, sehr umfangreichen Studien auch zukünftig intensiver Forschungsbedarf.

## **2 ENTWICKLUNG UND EPIDEMIOLOGIE VON *VENTURIA INAEQUALIS* (CKE.) WINT.**

Der Erreger *Venturia inaequalis* kann Blätter, Früchte aber auch Triebe und Knospen von *Malus* spp. befallen und dort typische Symptome hervorrufen. Als weitere Wirte werden auch Zierapfel, Weiß-, Rot- und Hagedorn (*Crataegus* spp.), Eberesche (*Sorbus* spp.), Feuerdorn (*Pyracantha* spp.) sowie *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindley erwähnt (JONES 1998). Das Ausmaß des Schorfbefalls während der Vegetationsperiode ist abhängig von unterschiedlichen Umwelt- sowie biologischen Faktoren, welche *Venturia inaequalis*, seinen Wirt *Malus x domestica* Borkh. sowie deren Beziehung zueinander verändern können. Hier sind insbesondere Temperatur und Feuchtigkeit als bedeutende Faktoren der Infektion und Verbreitung zu erwähnen (MACHARDY 1996, MACHARDY et al. 2001).

*Venturia inaequalis* infiziert in erster Linie sehr junges Gewebe, z.B. Blätter, welche zum Zeitpunkt der Inokulation noch nicht vollständig entfaltet sind. Die Anfälligkeit der Apfelblätter kann bereits zwei Tage nach deren Expansion deutlich reduziert sein. Mit zunehmendem Alter des Wirtsgewebes tritt die sogenannte ‚Altersresistenz‘ bzw. ontogenetische Resistenz ein, welche erst am Ende der Wachstumsperiode wieder durchbrochen werden kann, so dass im Herbst auch zuvor unbefallene, ältere Blätter Befallssymptome zeigen können (SUTTON et al. 1976, SCHWABE 1979, KOLLAR 1996).

Während eines Jahres werden beide Abschnitte des Lebenszykluses durchlaufen, d.h. sowohl die asexuelle als auch die sexuelle Phase. In der Vegetationsperiode tritt der Erreger des Apfelschorfs in seiner asexuellen Nebenfruchtform *Spilocaea pomi* Fr., Syn. *Fusicladium pomi* (Fr.) Lind. oder *Fusicladium dentriticum* (Wallr.) Fuck., als biotropher, fast obligater Parasit an Blättern, Trieben und Früchten auf, während *Venturia inaequalis* als Saprophyt im Falllaub überwintert (AUST et al. 1991). Diese im Herbst auftretende Hauptfruchtform stellt die sexuelle Lebensform dar und ist gekennzeichnet durch die Bildung der Überwinterungsorgane, der sogenannten Pseudothecien, in welchen sich während des Winters Ascii entwickeln. In diesen reifen im Frühjahr Ascosporen heran, deren Ausstoß in der Regel zur Zeit des Knospenaufbruchs beginnt und seinen Höhepunkt während Blüte

und beginnender Fruchtentwicklung erreicht. Ausstoß und Verbreitung der Ascosporen erfolgen nur bei Tageslicht, Wind und Regen. Zur möglichen Initiation eines Ascosporenausstoßes durch Tau gibt es in der Literatur kontroverse Angaben (GADOURY et al. 1998, STENSVAND et al. 1998, ROSSI et al. 2001).

Ascosporen und Konidien von *Venturia inaequalis* keimen bei ausreichender Blattfeuchte ein- und mehrfach aus und bilden anschließend Appressorien (Abb. 1a). Nach erfolgreicher Infektion bildet der Erreger ein ‚primäres Stroma‘ zwischen Cuticula und Epidermiszellen, welches sich durch Differenzierung von Laufhyphen radial auf den Epidermiszellen des Wirtes ausbreitet (Abb. 1b u. c). Treffen Hyphenzweige während des Wachstums aufeinander, so bilden sich die charakteristischen parallelen Strukturen des ‚Sekundären Stromas‘ (Abb. 1d). Sowohl an den Laufhyphen als auch an den Strängen des ‚Sekundärstromas‘ findet die Ausbildung von als ‚Korraliphären‘ bezeichneten Auswüchsen statt, welche den Kontakt des Erregers mit den Epidermiszellen des Wirtes ermöglichen und vermutlich die Ernährung des Pathogens sicherstellen. Im weiteren Verlauf der Pathogenese entstehen am ‚Sekundären Stroma‘ und auf den ‚Korraliphären‘ Hyphenverdickungen, auf welchen sich die Konidiophoren entwickeln. An diesen Stellen beginnt die Konidienbildung, als deren Folge die Cuticula aufgedrückt wird und die Konidien auf der Blattoberfläche freigelassen werden (Abb. 1e).

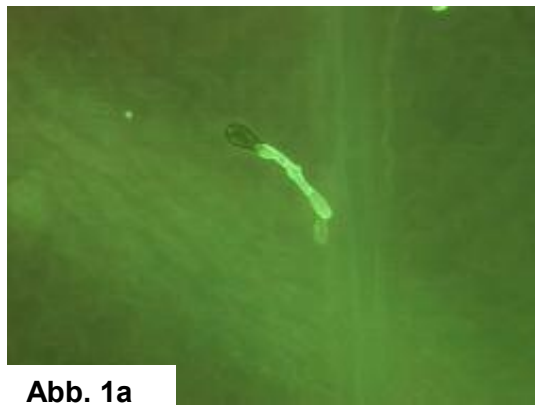


Abb. 1a



Abb. 1b

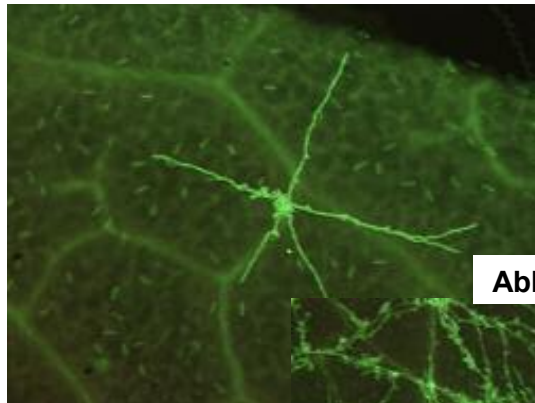


Abb. 1c

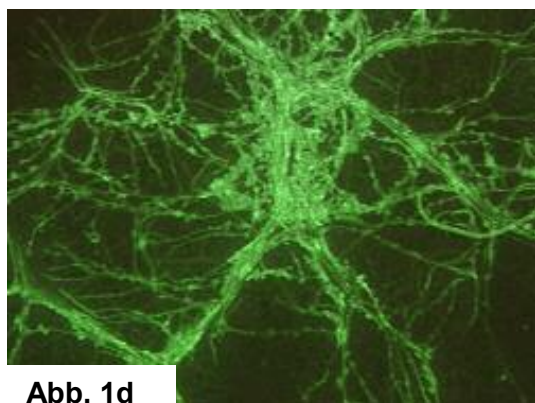
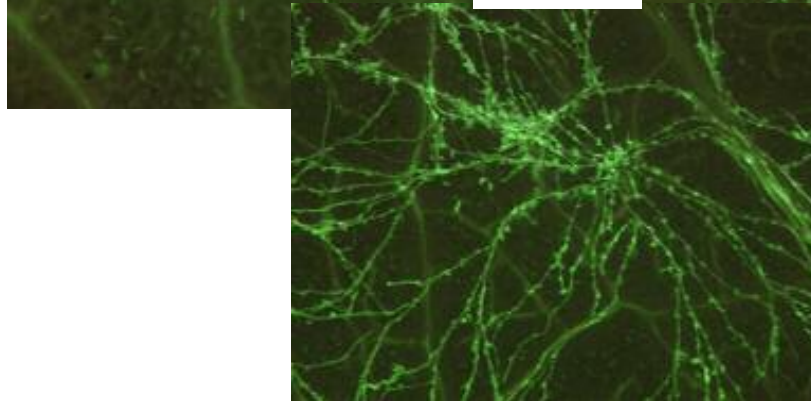
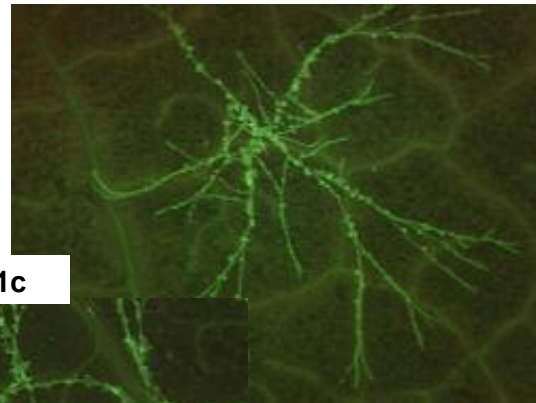


Abb. 1d

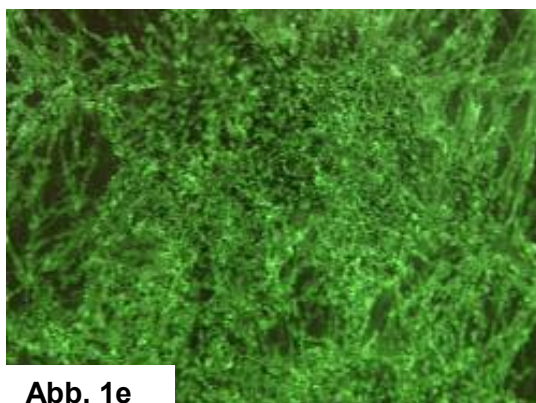


Abb. 1e

Abb 1: Infektionszyklus des Apfelschorferregers *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. (PORTZ et al. 2002)

- a) Gekeimte Konidie mit Keimschlauch-, Appressorien- und beginnender Primärstromabildung
- b) Gekeimte Konidien mit Primärstromabildung
- c) Subcuticuläre Entwicklung: verschiedene Stadien der Laufhyphendifferenzierung
- d) Sekundärstromabildung
- e) Sporulierende Befallsstelle

### 3 ÜBERWINTERUNGSFORMEN VON *VENTURIA INAEQUALIS* (CKE.) WINT.

Der Zeitraum der Primärinfektionen im Frühjahr wird generell als entscheidend für die weitere Befallsentwicklung des Apfelschorfs angesehen. Kenntnisse über die auftretenden Überwinterungsformen von *Venturia inaequalis* sind essentielle Grundlage für eine zuverlässige Kontrolle des Erregers (KENNEL 1987, TRILOFF 1999). Die Haupüberwinterungsform von *Venturia inaequalis* sind die im Falllaub entstehenden Ascosporen. Darüber hinaus können aber auch standortbedingt Konidien im und am Baum den Winter überdauern (Abb. 2).

Die erste, kurze Notiz über Läsionen am Holz, die auf einen Befall mit Apfelschorf zurückgeführt werden konnten, wurde 1855 von BERKELEY veröffentlicht. ADERHOLD aber erklärte 1896 Holzschorf als Inokulumquelle im Frühjahr als unbedeutend. Erst vierzig Jahre später befassten sich CUBONI (1892) sowie STEWART und BLODGETT (1899) intensiver mit dieser Erscheinungsform von *Venturia inaequalis*. In den darauffolgenden zahlreichen Studien kristallisierte sich eine deutliche Abhängigkeit des Holzschorfs sowie der Läsionen an Knospenschuppen von den standortbedingten Witterungsbedingungen während der Überwinterungsphase heraus (BAGENAL et al. 1925, SALMON u. WARE 1931, MCKAY 1938, MCKAY 1942, COOK 1974, KENNEL u. MOOSHERR 1983, HESS u. STÖSSER 1986, KENNEL 1987, KENNEL 1989, MOOSHERR 1990, BECKER u. BURR 1990, BECKER et al. 1992). So wurde in New York keine Konidienproduktion in Schorfläsionen an Trieben im Frühjahr aber die Überwinterung von lebensfähigen Konidien in Knospen beobachtet (BECKER u. BURR 1990 a, BECKER 1990, BECKER et al. 1992). Demgegenüber konnten in England im zeitigen Frühjahr große Mengen neugebildeter Konidien in überwinternden Befallsstellen sowohl an Knospenschuppen als auch an Trieben gefunden werden (MARSH u. WALKER 1932, DILLON WESTON u. PETHERBRIDGE 1933, GOOSSENS 1934, COOK 1974, HILL 1975). Auch in Deutschland wurden im Bereich des Bodensees und des ‚Alten Landes‘ Studien zur Bedeutung der Überwinterung von Stroma an Organen des Baumes durchgeführt und bestätigten dessen Beteiligung an der Bildung des Primärinokulums innerhalb dieser Regionen (KENNEL 1981, MOOSHERR 1990, PALM 1994).

Es besteht die Notwendigkeit, das Primärinokulum durch geeignete Methoden so gering wie möglich zu halten und eine frühe Befallsentwicklung zu verhindern, die im weiteren Verlauf der Vegetation zu hohen Befallsintensitäten führt, welche nur schwer und unvollständig kontrolliert werden können

(RÜEGG u. TAMM 1997). Hierfür ist es notwendig, die Zusammensetzung des Primärinokulums zu kennen, welche in Abhängigkeit von Anbauregion und Bewirtschaftungsweise der entsprechenden Anlage sehr verschieden sein kann.

Zur Reduktion der zahlreichen Fungizidbehandlungen gegen *Venturia inaequalis* wurden verschiedene Warnsysteme entwickelt, welche anhand von Temperatur, Blattfeuchtedauer sowie Ascosporenfängen in entsprechenden Sporenfallen die Primärinfektionsphasen berechnen und dem Anbauer so den gezielten Einsatz der Bekämpfungsstrategien ermöglichen (BATZER et al. 2000). Erste Schorfwarnsysteme wurden bereits 1940 von MILLS entwickelt, der die Dauer der zur Infektion notwendigen Blattfeuchte in Abhängigkeit von der Temperatur als sogenannte MILLS'sche Kurve zusammenstellte (MILLS 1944, MILLS u. LAPLANTE 1951, MACHARDY 1996). Diese Untersuchungen sind trotz zahlreicher Revisionen bis heute Grundlage der Schorfwarnsysteme (TURNER et al. 1986, MACHARDY u. GADOURY 1989, STENSVAND et al. 1997, HARTMANN et al. 1999). Obwohl diese Vorhersagemodelle in der Praxis regelmäßig eingesetzt werden, sind immer wieder überraschende Befallsentwicklungen im Frühjahr zu beobachten (CREEMERS 1998).

Überwinternde Konidien und Myzel von *Venturia inaequalis* kommen als zusätzlicher Faktor grundsätzlich in Betracht (AALBERS et al. 1998). Das tatsächliche Auftreten dieser zusätzlichen Primärinokulumquellen kann aber in der Regel nicht überprüft werden, da Konidien aufgrund ihres nahezu ausschließlichen Transportes durch Regen nur selten in Sporenfallen gefangen werden (HIRST u. STEDMAN 1961, AYLLOR u. SANOGO 1997). Die Verbreitung von Konidien ist im Vergleich zu Ascosporen räumlich auf den befallenen Baum und seine nächsten Nachbarn begrenzt (MACHARDY 1996). Eine Überprüfung des Auftretens von überwinternden Konidien ist aus diesem Grund sehr arbeitsintensiv, da für eine zuverlässige Aussage sehr viele Proben zu entnehmen sind. Für das Apfelanbaugebiet im Rheinland wurden bisher keine Erhebungen zu Vorkommen und Bedeutung der Überwinterung asexueller Strukturen des Apfelschorfs durchgeführt.

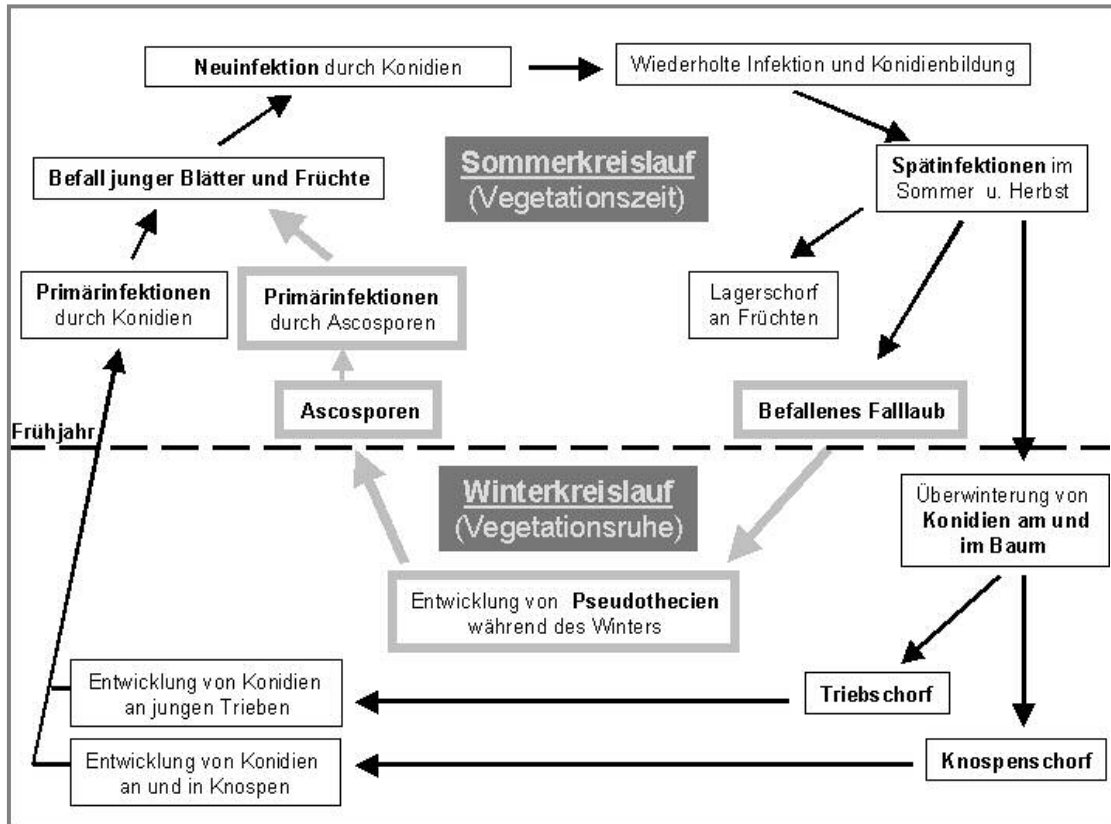


Abb. 2: Entwicklungszyklus des Apfelschorferregers *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Überwinterungsformen (nach FRIEDRICH et al. 1987, KENNEL u. MOOSHERR 1983, JONES u. ALDWINCKLE 1996)

## **4 EINFLUSS DES APFELSCHORFS AUF DIE GENERATIVE ENTWICKLUNG VON *MALUS DOMESTICA* BORKH.**

### **4.1 Blütenknospenentwicklung beim Apfel**

Die Produktivität von Apfelbäumen ist durch jährlich auftretende Unregelmäßigkeiten geprägt. Auf ein Jahr des Tragens mit übermäßig hohem Fruchtbehang, der sich aus zahlreichen, kleinen Früchten zusammensetzt, folgt ein Leerjahr mit geringem bzw. vollständig fehlendem Fruchtbehang (BERTSCHINGER u. STADLER 1997). Diese Ertragsschwankungen werden als 'Alternanz' bezeichnet und in der Intensität ihres Auftretens durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Beim Kernost findet die Blütenknospendifferenzierung, d.h. die Bildung und Entwicklung der Blütenknospen für das Folgejahr, zeitgleich mit intensivem Fruchtwachstum, verstärkter Triebbildung sowie starkem Blattmassezuwachs statt (Abb. 3, WINTER et al. 1992, FRIEDRICH 1993). Die Initiation, d.h. die Anlage der Blütenknospen, kann sorten- und jahresabhängig sowie in Abhängigkeit von Triebwachstum und Ertragsmenge von Mitte Juli bis Ende August beobachtet werden (LINK 1981, BUBAN u. FAUST 1982, STOCKERT u. STÖSSER 1996). Dieser Zeitraum ist geprägt durch einen möglichen, letzten Austrieb der Zweige sowie durch hohe Gewichtszunahmen der Früchte. Demnach sind die ersten vier bis sechs Wochen nach der Blüte entscheidend für die Entstehung von Alternanz, wenn intensive Wachstums- und Entwicklungsprozesse im Baum gleichzeitig ablaufen (LINK 1978, DOLEGA u. BERTSCHINGER 1998).

In der Literatur werden zur Erklärung dieser Beobachtung zwei Hypothesen postuliert. Die reduzierende Wirkung hohen Fruchtbehangs auf die Blütenknospenentwicklung wird einerseits auf eine Konkurrenz um Assimilate zwischen wachsenden Trieben, sich entwickelnden Früchten und der Initiation von Blütenknospen zurückgeführt (HENNERTY u. FORSEY 1971, JONKERS 1979, SCHUMACHER et al. 1987, PROCTOR u. PALMER 1991). Andererseits gibt es eindeutige Hinweise auf die überragende Bedeutung der Phytohormone für die Initiation der Blütenknospen. Geringe Gibberellin- und Auxingehalte fördern die Blütenbildung, während hohe Mengen von Abscisinsäure reduzierend wirken. Der Fruchtansatz und die Wachstumsprozesse von Früchten und Blättern werden durch diese Konstellation negativ beeinflusst. Auxine, Cytokinine und Gibberelline verbessern die Fruchtentwicklung, während Abscisinsäure und Ethylen, welche in Pflanzen Alterungsprozesse beschleunigen, Frucht- und Blattentwicklung hemmen (FRIEDRICH et al. 1986, DAVIES 1995). Ein Zusammenspiel von Nährstoffverfügbarkeit und Pflanzenhormo-



nen erscheint sinnvoll, wobei den pflanzlichen Hormonen die übergeordnete und regulatorische Bedeutung zuzukommen scheint (TAMAS 1995).

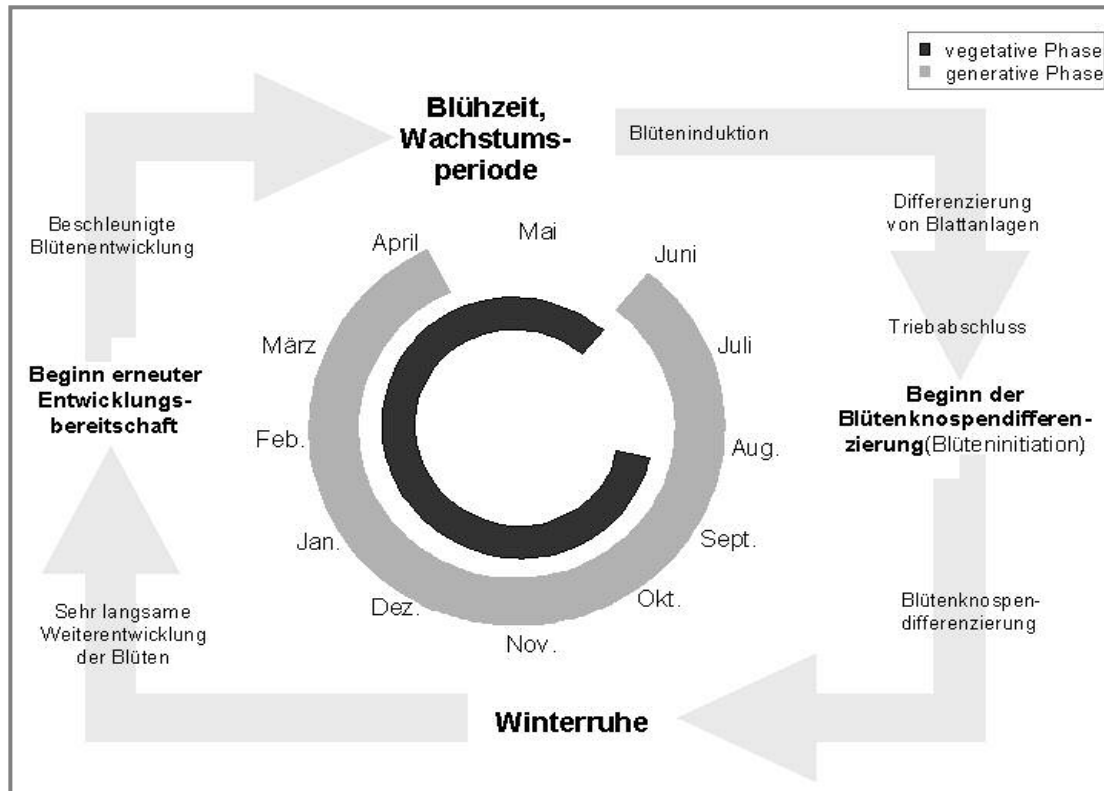


Abb. 3: Blütenbildung und Blüte bei *Malus domestica* Borkh. im Jahresverlauf (nach KELLERHALS et al. 1997)

Neben der Sicherstellung eines jährlich wiederkehrenden, ausreichenden Fruchtbehanges durch entsprechende Blütenknospenbildung ist die Produktion hoher Fruchtqualitäten von herausragender Bedeutung. Starker bzw. übermäßiger Fruchtbehang reduziert die durchschnittliche Fruchtgröße, ein wichtiges Kriterium für die Vermarktungs- und Lagerfähigkeit von Apfelfrüchten, sowie andere Parameter der inneren und äußeren Fruchtqualität, wie z.B. den Gehalt an löslichen Zuckern, die Ausfärbung, und die Fruchtfleischfestigkeit (WESTWOOD u. BILLINGSLEY 1967, VAN DER BOON 1980, JOHNSON 1992).

Die beschriebenen Vorgänge der Blütenknospenentwicklung werden durch zahlreiche abiotische, aber auch biotische Einflussfaktoren beeinflusst.

## 4.2 Einflussfaktoren der Blütenknospenentwicklung

### 4.2.1 Abiotische Faktoren

Als abiotische Faktoren werden Einflüsse der unbelebten Umwelt auf einen Organismus bezeichnet, wie z.B. Licht, Temperatur, Luft und Boden (BAYHUBER u. KULL 1989). Zu den abiotischen Einflussfaktoren der Knospenentwicklung zählen neben Witterungseinflüssen auch Anbaumaßnahmen, die einen der verschiedenen Wachstums- und Entwicklungsprozesse besonders fördern. So führt übermäßiger Schnitt der Bäume im Sommer zu verstärktem Neuaustrieb, wodurch sowohl die Fruchtqualität im Behandlungsjahr als auch die Blütenknospenentwicklung für das Folgejahr deutlich reduziert wird (WENINGER u. WURM 1998).

### 4.2.2 Biotische Faktoren

Einflüsse, die auf Einwirkungen durch andere Organismen zurückzuführen sind, werden als biotische Faktoren bezeichnet (BAYHUBER u. KULL 1989). Hier sind Schädlinge und Krankheitserreger des Apfelbaumes zu nennen. Bisher liegen kaum Untersuchungen zur Wirkung biotischer Faktoren auf die Blütenknospenentwicklung vor. *Venturia inaequalis*, der Erreger des Apfelschorfs, stellt einen der bedeutendsten Schadorganismen des Apfels dar. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden vereinzelt Studien zum Einfluss hohen Schorfbefalls auf Fruchtansatz und verfrühten Fruchtfall veröffentlicht (BAILEY 1895, GOSSARD 1909, SELBY 1910). Aber nur BAILEY erwähnte 1895 Reduktionen der Blütenknospenanzahl im Folgejahr hohen Schorfbefalls. Zur Beschreibung der Wirkung von Apfelschorf auf die Blütenknospen muss differenziert werden zwischen der direkten Wirkung des Erregers durch Befall von Knospen und Blütenorganen sowie der indirekten Wirkung von Blattschorf auf die Blütenknospenentwicklung. Falls eine Reduktion der Assimilationsfläche eine Konkurrenz um Assimilate im Baum hervorruft, könnte hoher Blattschorf die Differenzierung von Blütenknospen negativ verändern.

## 5 KONTROLLMÖGLICHKEITEN DES APFELSCHORFS

Innerhalb des Lebenszykluses von *Venturia inaequalis* können bestimmte Zeitpunkte als Schlüsseltermine für die Kontrolle des Apfelschorfs angesehen werden. Es existieren drei Phasen, in denen der Erreger besonders empfindlich ist bzw. Stationen, die für die weitere Entwicklung wichtig sind. Die Etablierung im Frühjahr, die Entwicklung von mindestens zwei verschiedenen, erfolgreichen Genotypen auf einem Blatt während der Vegetationsperiode sowie daraus folgend die Bildung neuer Kombinationen erfolgreicher Genotypen während der sexuellen Phase des Erregers sind als bevorzugte Ansatzpunkte zur Kontrolle zu nennen. Zur Gliederung der unterschiedlichen Verfahren zur Kontrolle des Apfelschorfs sind in der Literatur zahlreiche Ansätze bekannt. An dieser Stelle wurde das Schema von MACHARDY et al. (2001) ausgewählt, welches eine Unterteilung in ‚Defensivstrategien‘ und ‚Offensivstrategien‘ vornimmt. Die unterschiedlichen Bekämpfungsverfahren sollten nach intensiver Evaluierung der standort- und sortenabhängigen Voraussetzungen kombiniert und gezielt eingesetzt werden.

### 5.1 Defensivstrategien

Der Begriff ‚Defensivstrategien‘ beschreibt Verfahren zur Minderung von Apfelschorfinfektionen während der Vegetationsperiode. Hierzu gehören sowohl der Einsatz von Fungiziden sowie biologischen Verfahren als auch die Auswahl resistenter Apfelsortensorten.

#### 5.1.1 Fungizide und Resistenzmanagement

Zur Kontrolle des Apfelschorfs werden im integrierten Apfelanbau jährlich bis zu 20 Fungizidspritzungen ausgebracht (KOLLAR 1997, MACHARDY et al. 2001). Der jährliche Aufwand der Schorfkontrolle kann bis zu zwei Drittel der gesamten Pflanzenschutzaufwendungen im Kernobstanbau betragen (FISCHER 1996).

Kupfer ist einer der ältesten fungiziden Wirkstoffe. Die Herstellung der sogenannten ‚Bordeaux-Brühe‘, einem Gemisch aus gelöschtem Kalk und Kupfersulfat wurde bereits 1885 von MILLARDET beschrieben. Noch heute werden Kupfersalze zur Kontrolle zahlreicher Pilzkrankungen weltweit verwendet, da diese Präparate in vielen Ländern kostengünstig und ohne großen Auf-

wand hergestellt werden können. Die toxische Wirkung der Kupferionen führt zu einer unspezifischen Interaktion mit Proteinen und anderen Zellbestandteilen, als Folge dessen z.B. Funktionsstörungen und Veränderungen der Membranpermeabilität zu beobachten sind (HOCK u. ELSTNER 1995). Kupferkonzentrationen von mehr als 400 ppm in Böden führen zur Anreicherung des Schwermetalls in verschiedenen Pflanzenorganen. Im Wein- und Hopfenanbau ist die Überschreitung dieser Maximalwerte bereits sehr häufig zu beobachten (GÄRTEL 1985). Aufgrund der Belastung von Böden und der Anreicherung dieses Schwermetalls in Pflanzenorganen, deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt noch nicht abschätzbar sind, wurde die jährliche Aufwandmenge auf 3 kg Kupfer/ha begrenzt (BBÖ 1998, BBA 1999). Neben der akuten Toxizität liegen auch erste Erhebungen und Hinweise zur chronischen Toxizität, d.h. Karzenogenität, Teratogenität und Mutagenität vor (BBA 1999). Kupferpräparate weisen eine hohe Phytotoxizität auf, deren Folge u.a. Verbräunungen der Blütenblätter sein können. Aufgrund des daraus resultierenden Befruchtungsrisikos und möglicher Fruchtberostungen können durch Kupferbehandlungen während und nach der Blüte Qualitätsminderungen der Früchte hervorgerufen werden (KIENZLE et al. 1995, PALM 1995).

Ein gänzlich Anwendungsverbot für kupferhaltige Präparate wurde bereits in verschiedenen Ländern der Europäischen Union eingeführt und ist auch in Deutschland Auslöser zahlreicher Diskussionen (HOLB u. HEIJNE 2001, JONG et al. 2002). Aufgrund des Anwendungsverbotes für Kupferpräparate in den Niederlanden seit dem Jahr 2000 wurden verschiedene Studien zum Einsatz von Schwefel bei der Kontrolle von *Venturia inaequalis* veröffentlicht (HOLB u. HEIJNE 2001, JONG et al. 2002). Hohe Aufwandmengen von Schwefel haben aber ebenfalls unerwünschte Nebenwirkungen auf den Baum (Fruchtberostung, Blütenansatz, Assimilation etc.) sowie Beeinträchtigungen des Bienenfluges zur Folge. Zusätzlich kann eine Wirkungsminderung durch Verdampfen des Schwefels bei hohen Temperaturen auftreten sowie eine Begünstigung von Sonnenbrandschäden beim Einsatz von Netzschwefel beobachtet werden (SCHMITZ u. NOGA 1995). Demnach stellt der Ersatz von Kupfer durch verstärkten Schwefeleinsatz keine dauerhafte und zuverlässige Lösung dar.

Im organischen Apfelanbau ermöglichen Kupferpräparate, welche z.B. Kupferoxichlorid (FUNGURAN®) oder Kupferhydroxid (FUNGURAN OH®) enthalten, eine zuverlässige Kontrolle des Apfelschorfs (STENSVAND u. AMUNDSEN 2000). Synthetische Fungizide sind entsprechend der Richtlinien der ökologischen Anbauverbände nicht zugelassen. Verschiedene Alternativpräparate zur Kontrolle des Erregers während der Vegetationsperiode zeigten unter

Freilandbedingungen bisher keine zuverlässige Wirksamkeit (BOSSHARD u. SCHUEPP 1994, KIENZLE et al. 1995, PFEIFFER 1995, STRAUB 1995, RÜEGG u. TAMM 1997, HOLB u. HEIJNE 2001, JONG et al. 2002).

Für die konventionelle Kontrolle des Apfelschorfs bzw. die Kontrolle nach den Richtlinien der integrierten Produktion wurden zahlreiche Fungizide entwickelt. Aufgrund häufiger Anwendung eines bestimmten, spezifisch wirkenden Wirkstoffes innerhalb einer Wachstumsperiode zeigten sich aber verhältnismäßig schnell Fungizid-Resistenzen des Erregers, der als Folge dessen noch schwerer zu kontrollieren war bzw. ist. Unspezifisch wirkende Fungizide, wie z.B. Dithianon (DELAN®) oder Kupfer- und Schwefelpräparate, ermöglichen kaum Resistenzbildung, da zu viele Modifikationen des Erregers nötig sind (BUCHENAUER 1984). Bisher wurden Resistenzen des Apfelschorferregers gegenüber Dodine, Benzimidazolen und Steroldemethylierungshemmern nachgewiesen (HILDEBRAND et al. 1989, SMITH et al. 1991, CARISSE u. PELLETIER 1994). Auch die Fungizidgruppen der Anilinopyrimidine und der Strobilurine werden aufgrund ihrer spezifischen Wirkungsweise als resistanz anfällig bezeichnet (KÖLLER 1994, TRILOFF 1999, GULLINO et al. 2000). KÖLLER und WILCOX (2001) konnten eine Prädisposition von fungizidresistenten Isolaten von *Venturia inaequalis* bezüglich einer bevorzugten Selektion von Resistenz gegenüber anderen Fungiziden nachweisen. Dies bedeutet, dass obwohl keine Kreuzresistenzen zwischen diesen Fungizidfamilien auftreten, ein Wirkungsverlust von Steroldemethylierungshemmern (DMIs) häufiger in Populationen zu finden ist, die eine Dodine- und Benzimidazol-Resistenz aufweisen. Resistenzstrategien basieren auf der Limitierung der Einsatzhäufigkeit von Fungizidfamilien innerhalb einer Saison. Zusätzlich sollen abwechselnd verschiedene Fungizidgruppen und diese nach Möglichkeit auch in Kombination eingesetzt werden, um so die Ausbildung von Fungizidresistenzen zu minimieren.

Die Forschung nach neuen Wirkstoffen wird auch in Zukunft nicht an Bedeutung verlieren, da alte Fungizide in ihrer Wirkung durch neue Präparate ergänzt werden sollten, um ein zuverlässiges Resistenzmanagement aufrecht zu erhalten und darüber hinaus die Kontrollmöglichkeiten in der organischen Produktion zu verbessern (GULLINO et al. 2000, HOLB u. HEIJNE 2001, JONG et al. 2002).

### 5.1.2 Biologische Verfahren

Zur biologischen Kontrolle des imperfekten Stadiums von *Venturia inaequalis* wurden verschiedene Pilze der Phyllosphaere getestet. Hierbei zeigten *Chaetomium globosum* sowie verschiedene Isolate von *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Trichoderma* und *Fusarium* eine antagonistische Wirkung (ANDREWS et al. 1983, CULLEN et al. 1984, FISS et al. 2000, PALANI u. LALITHAKUMARI 1999).

Neben der direkten Beeinflussung von Krankheitserregern können auch physiologische Vorgänge und Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Antagonisten zu einer gesteigerten Widerstandsfähigkeit der Wirtspflanze führen. In einem solchen Fall induzieren Substanzen bzw. Mikroorganismen Resistenzen, d.h. sie aktivieren die pflanzeigenen Abwehrmechanismen (SCHÖNBECK et al. 1993, STIERL et al. 1997, ORTEGA et al. 1998).

Besonders im Vergleich zu den verfügbaren Fungiziden erwiesen sich die bisher verwendeten biologischen Anbauverfahren unter Freiland- bzw. praxisrelevanten Bedingungen häufig als unzuverlässig oder unzureichend (BOUDREAU u. ANDREWS 1987, BURR et al. 1996).

### 5.1.3 Züchtung resistenter Apfelsorten

Die Züchtung resistenter Apfelsorten weist aufgrund der hohen Anpassungsfähigkeit des Erregers *Venturia inaequalis* zur Zeit nur bedingte Erfolge auf, da die verwendeten Resistenzeigenschaften der für den Anbau hauptsächlich zugänglichen Sorten monogen vererbt werden. Das am häufigsten eingesetzte Resistenzgen, nach seiner ‚Spenderpflanze‘ *Malus floribunda* als  $V_f$ -Gen bezeichnet, wurde bereits durch zwei Rassen des Erregers überwunden, d.h. diese Rassen konnten auf Blättern  $V_f$ -resistenter Sorten Symptome ausbilden (PARISI et al. 1993, ROBERTS u. CRUTE 1994, PARISI u. LESPINASSE 1996). Apfelsorten, welche polygene Resistenzen sowohl gegen Apfelschorf als auch gegen Mehltau (*Podosphaera leucotricha*) enthalten, könnten eine weitere Einschränkung der notwendigen Pflanzenschutzmaßnahmen und dauerhafte Resistenzen gegen die genannten pilzlichen Pathogene ermöglichen (URBANIETZ et al. 1999). Erfolgversprechende Züchtungsanstrebungen befinden sich aber zur Zeit noch im Anfangsstadium, da polygene Eigenschaften nur schwer zu übertragen sind und zusätzlich regelmäßige Erträge, eine ansprechende innere und äußere Fruchtqualität, gute Lagerfähigkeit,

geringe Schädlingsanfälligkeit und Verbraucherakzeptanz berücksichtigt werden müssen (ALSTON et al. 1996, URBANIETZ et al. 1999). Problematisch ist die Anwendung der neuen Züchtungen im organischen Apfelanbau, da gentechnisch veränderte Pflanzen aufgrund der Richtlinien der Anbauverbände hier keine Akzeptanz finden (KELLERHALS et al. 1997). Ohne Verwendung gentechnischer Methoden ist die Züchtungsarbeit jedoch sehr langwierig, so dass dem organischen Apfelanbau kurz- und mittelfristig nur wenige resistente Sorten zur Verfügung stehen werden. Zur Verlängerung der Wirksamkeit derzeit verfügbarer Krankheitsresistenzen sollte der Anbau dieser Apfelsorten durch ein angemessenes Kontrollprogramm sowie die Anwendung von vorbeugenden Hygienemaßnahmen ergänzt werden (BELZ u. RUESS 2001).

Während durch die Züchtung resistenter Apfelsorten die Applikation von Präparaten zur Schorfkontrolle reduziert werden konnte, nimmt gleichzeitig die Bedeutung der Russfleckenkrankheit deutlich zu, da sie nicht länger durch Schorf- und Mehltaubehandlungen unterdrückt wird (BELZ u. RUESS 2001). Besonders in organisch wirtschaftenden Betrieben, welche die herkömmlich gezüchteten resistenten Sorten, wie z.B. Topas, anbauen, tritt diese in Deutschland bisher selten beobachtete Pilzerkrankung an Apfelfrüchten verstärkt auf. Es handelt sich hierbei um einen Erregerkomplex, welcher einen grauen Belag auf der Fruchtoberfläche entwickelt und im Verdacht steht, Mykotoxine zu produzieren (SUTTON 1990, KARRER 1991, SUTTON u. MACHARDY 1993, KEPPEL 1995, KIENZLE 1995, KERN et al. 2000). Ein vollständiger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel ist demzufolge auch durch den Anbau schorf-resistenter Sorten nicht möglich (BELZ u. RUESS 2001).

## 5.2 Offensivstrategien

Der Begriff ‚Offensivstrategien‘ beschreibt Verfahren zur Reduktion der Ascosporenmenge während der saprophytischen Phase des Erregers im Herbst und Winter. Hierzu stehen verschiedene chemische, physikalische und biologische Verfahren zur Verfügung (MACHARDY et al. 2001). Diese Maßnahmen mindern den Fungizidaufwand, die Managementkosten im Folgejahr und ermöglichen eine effiziente Kontrolle nach den Richtlinien der integrierten Produktion.

### 5.2.1 Chemische Verfahren

Zur Reduktion der Pseudothecienbildung und damit der verfügbaren Ascosporenmenge im Frühjahr wurden im Herbst verschiedene Fungizide eingesetzt. HEIJNE et al. (2000) applizierten zwei Fungizide in Kombination mit Harnstoff vor der Ernte, d.h. vor Blattfall und beobachteten eine geringfügige Minderung der Befallsentwicklung im folgenden Frühjahr. Auch MOTTE (1986) untersuchte die reduzierende Wirkung von Fungizidbehandlungen im Herbst auf das perfekte Stadium des Apfelschorfs.

Harnstoff kann zur Zeit des Blattfalls eingesetzt werden, um die Zersetzung des Falllaubs zu beschleunigen. Neben der Förderung von Mikroorganismen wird für Harnstoff auch eine direkte, d.h. fungizide Wirkung gegenüber *Venturia inaequalis* erwähnt (GUPTA u. LELE 1980, MANKTELOW u. BERESFORD 1993, THAKUR u. SHARMA 1999, SUTTON et al. 2000).

### 5.2.2 Biologische Verfahren

Zur biologischen Bekämpfung von *Venturia inaequalis* stehen verschiedene Strategien bzw. Präparate zur Verfügung. Nachgewiesen wurde die Wirksamkeit von Kompostextrakten, phenolreichen Substanzen, Antioxidantienpräparaten sowie weiteren Pflanzenbehandlungsmitteln (TRÄNKNER u. KIRCHNER-BIERSCHENK 1988, GROSS-SPANGENBERG 1992, MAYR u. TREUTTER 1995, MICHALEK u. TREUTTER 1995, PFEIFFER 1995, SCHMITZ u. NOGA 1995, SCHÜLER 1995, STRAUB 1995, BUCHTER-WEISBRODT 1996, SCHMITZ u. NOGA 1998). Ebenso eignen sich verschiedene Antagonisten zur Kontrolle des Apfelschorfs. Unterschiedliche Arbeiten beschäftigen sich mit der Wirkung antagonistischer Pilze, wie z.B. *Chaetomium* ssp., der Nutzung von Mikroorganismen der Phyllosphaere des Apfels sowie der Verwendung von Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukten, wie z.B. *Bacillus subtilis* (ANDREWS et al. 1983, CULLEN et al. 1984, MIEDTKE u. KENNEL 1990, STEINER 1990, ANDREWS 1992, GUTMANN et al. 1998, KILIAN et al. 2000).

Bei der biologischen Kontrolle des Apfelschorfs durch Reduktion der Bildung von Pseudothecien und Ascosporen findet die Behandlung des befallenen Falllaubs im Herbst des Vorjahres statt. Der Einsatz von Fungiziden zu diesem späten Zeitpunkt der Vegetationsperiode sollte aufgrund der Förderung von Fungizidresistenzen und zur Schonung der Umwelt nach Möglichkeit vermieden werden. Aus diesem Grund stellen biologische Verfahren auch in



der integrierten Produktion eine mögliche Ergänzung der phytosanitären Maßnahmen dar.

Unglücklicherweise haben sich die bisher verwendeten biologischen Anbauverfahren unter Freiland- bzw. praxisrelevanten Bedingungen häufig als unzuverlässig oder unzureichend erwiesen (BOUDREAU u. ANDREWS 1987, BURR et al. 1996).

### 5.2.3 Phytosanitäre Maßnahmen

Als phytosanitäre Maßnahmen werden Anbaumaßnahmen bezeichnet, welche vorbeugend durchgeführt werden und die Entwicklung von Pseudothecien verringern. Hierzu gehört die Förderung der Regenwurmpopulationen, die Reduktion des Falllaubs durch Häckseln, Verbrennen oder Entfernen sowie verschiedene Schnittmaßnahmen oder die Vermeidung zu hoher Stickstoffgaben (TRILOFF 1999, SUTTON et al. 2000, MACHARDY et al. 2001).

Die Zersetzung des Falllaubs und damit die Überwinterung des Pilzes in Form von Pseudothecien kann durch Verfahren und Zusätze, welche die Bodengare fördern, deutlich reduziert werden. Die Vermeidung einer Schädigung des Großen Regenwurms (*Lumbricus terrestris*) bewirkt ebenfalls eine deutlich beschleunigte Zersetzung des Falllaubs. Regenwürmer können bis zu 90% der entstehenden Blattmasse (184 kg/ha) während des Winters zersetzen (RAW 1962, NIKLAS u. KENNEL 1981, AALBERS 2001). Insbesondere durch die Ausbringung der für sie hochtoxischen Kupferpräparate, welche zur Zeit noch in hohen jährlichen Mengen zur Kontrolle verschiedener Pilzkrankheiten im Apfelanbau Verwendung finden, aber werden Regenwürmer geschädigt (FRIEDRICH u. RODE 1996). Eine schnellere Reduktion bzw. Beseitigung des vorhandenen Falllaubs wird auch durch das praxisübliche Häckseln sowie durch Verbrennen ermöglicht (SUTTON 1992, SUTTON u. MACHARDY 1993, MACHARDY 1996).

Durch gezielte Schnittmaßnahmen besteht die Möglichkeit, die Durchlüftung des Baumes zu erhöhen und dadurch ein schnelleres Abtrocknen von Blättern, Früchten und Trieben zu bewirken, wodurch die zur Infektion benötigte minimale Blatt- bzw. Oberflächenfeuchtigkeit unter Umständen nicht mehr ausreicht (WIDMER u. WEIBEL 1997).

## 6 ZIELSETZUNG DER VORLIEGENDEN ARBEIT

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, verschiedene Bereiche der Kontrolle von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint., dem Erreger der wichtigsten Pilzerkrankung im Apfelertragsanbau der gemäßigten Klimate weltweit, zu untersuchen.

- Die Phase der Primärinfektionen im Frühjahr ist entscheidend für die weitere Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* während der Vegetationsperiode (MACHARDY et al. 2001). Ascosporen bilden die mengenmäßig bedeutendste Primärinokulumquelle, können aber standortbedingt durch asexuelle Strukturen ergänzt werden. Kenntnisse über die Zusammensetzung des Primärinokulums sind Grundvoraussetzung für eine zuverlässige Kontrolle, um überraschenden Befallsentwicklungen vorzubeugen. Das Auftreten asexueller Überwinterungsstrukturen von *Venturia inaequalis* im Baum ist standortbedingt und wurde für den rheinischen Apfelanbau bisher nicht überprüft. In Schorfwarmsystemen werden überwinternde imperfekte Stadien von *Venturia inaequalis* aufgrund fehlender Erfassungsmethoden nur peripher berücksichtigt. Aus diesem Grund sollten im Verlauf der vorliegenden Arbeit Untersuchungen zum Auftreten und zur Bedeutung überwinternder Konidien im rheinischen Apfelanbau durchgeführt werden, um die Aussage der Simulationsmodelle zu ergänzen. Ausgewählte Fungizide wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu Beginn und gegen Ende der Vegetationsperiode eingesetzt, um die Bedeutung des Primärinokulums sowie dessen Kontrollmöglichkeiten im Rheinland zu ermitteln.
- Bisher wurden keine Untersuchungen zu möglichen Veränderungen der Knospenqualität von Apfelbäumen durch *Venturia inaequalis* beschrieben. Reduktionen der Anzahl sich bildender Blütenknospen kann möglicherweise auf folgende Befallsentwicklungen zurückgeführt werden:
  - a) Direkter Befall der Knospen, wie er durch BECKER et al. (1992) sowie durch KENNEL u. MOOSHERR (1983) beschrieben wurde, könnte die Knospenqualität verringern.
  - b) Aufgrund von Reduktionen der verfügbaren Assimilationsfläche durch Blattschorf besteht die Möglichkeit einer verringerten Anzahl sich bildender Blütenknospen.

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit sollte sowohl die Möglichkeit direkten Knospenbefalls als auch die indirekte Einflussnahme des Blattschorfs auf die Entwicklung von Blütenknospen untersucht werden.

- Die bekannte Problematik der gesetzlich begrenzten Kupferanwendungen zur Kontrolle des Apfelschorfs stellt besonders den Anbau nach ökologischen Richtlinien vor große Probleme, da keine zuverlässigen Ersatzwirkstoffe zur Verfügung stehen. Die Suche nach neuen Substanzen zum Ersatz und zur Ergänzung bereits vorhandener Präparate ist aber auch bei der integrierten Produktion zur Sicherung des Resistenzmanagements von Bedeutung. In verschiedenen Versuchen zur Minderung von Sonnenbrand an Apfelfrüchten hat sich PLANTACUR E®, ein  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat, positiv präsentiert und auf Blatt und Frucht eine befallsmindernde Wirkung gegenüber Apfelschorf gezeigt (SCHMITZ u. NOGA 1995, NOGA u. SCHMITZ 2000). Aus diesem Grund sollten unter kontrollierten Bedingungen Wirksamkeit und Wirkungsweise von  $\alpha$ -Tocopherol untersucht werden.

## **B Bedeutung und Kontrolle des Primärinokulums von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. im rheinischen Apfelanbau**

### **1 EINLEITUNG**

Einen kritischen Abschnitt im Entwicklungszyklus von *Venturia inaequalis* stellt das Frühjahr dar, wenn sich der Erreger des Apfelschorfs für die kommende Vegetationsperiode etabliert. Ascosporen bilden hierfür die mengenmäßig bedeutendste Primärinokulumquelle (ADERHOLD 1896, WIESMANN 1932, JEGER und BUTT 1983, STENSVAND et al. 1997). Die praxisüblichen Schorf-Warnsysteme berechnen anhand des Auftretens von Ascosporen in Sporenfallen sowie der entsprechenden Witterungsdaten die Infektionsphasen des Apfelschorfs und ermöglichen dem Anbauer eine gezielte Bekämpfung (BATZER et al. 2000). Trotzdem sind immer wieder überraschende Befallsentwicklungen im Frühjahr zu beobachten (CREEMERS 1998). In der Literatur werden überwinternde Konidien und Myzel von *Venturia inaequalis* als zusätzliche Inokulumquelle im Frühjahr und Ursache dieser unvorhergesehenen Befallsentwicklungen diskutiert (MOOSHERR 1990, BECKER et al. 1992).

Zahlreiche Studien befassten sich bereits mit der Beziehung zwischen der Reduktion des Primärinokulums und der Schorfbefallsintensität während der folgenden Vegetationsperiode (ADAMS 1925, PALMITER 1946, HIRST u. STEDMAN 1962, BURCHILL u. HUTTON 1965, GADOURY u. MACHARDY 1986). Diese Untersuchungen verdeutlichen die Bedeutung des Standortes für das Auftreten verschiedener Überwinterungsstrukturen von *Venturia inaequalis*. Die milden Winter im Rheinland könnten eine Überwinterung zusätzlicher, asexueller Primärinokulumquellen im Baum zulassen. Diese finden aber aufgrund des Fehlens zuverlässiger Erfassungsmethoden in den bekannten Simulationsmodellen nur marginale Berücksichtigung (HESS u. STÖSSER 1986, KENNEL 1987, BECKER et al. 1992, BATZER et al. 2000). Um die Möglichkeiten zur Vorbeugung und zur Kontrolle besser ausschöpfen zu können, sollten die Bedeutung des Primärinokulums für die Befallsentwicklung während der folgenden Vegetationsperiode und Möglichkeiten zur Kontrolle im rheinischen Apfelanbau dargestellt werden. Hierzu wurden ausgewählte Fungizide zu verschiedenen Zeitpunkten vor sowie zu Beginn der Vegetationsperiode eingesetzt, um deren Wirksamkeit auf Blatt- und Fruchtschorfbefall zu erfassen. Auf diese Weise sollte einerseits der Beginn der Etablierung von *Venturia inaequalis* und andererseits der optimale Zeitpunkt der ersten Fungizidmaßnahme zeitlich eingegrenzt werden.

## **2 MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1 Pflanzenmaterial und Versuchsstandort**

Die Freilandversuche wurden an Bäumen der Sorte ‚Gloster/M9‘ (Pflanzjahr 1980) in der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Institutes für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn (Meckenheim/Rheinland) als Blockanlage mit vier Bäumen pro Wiederholung und drei Wiederholungen pro Variante durchgeführt. Zur Vermeidung von Kontaminationen des Versuchsquartiers durch Abdrift von den übrigen Betriebsflächen lagen zwei unbehandelte Trennreihen zwischen Versuchsquartier und verbleibender Betriebsfläche. Die Varianten waren in der Reihe durch jeweils einen unbehandelten Baum voneinander getrennt. Pflege-, Düngungs-, Herbizid- und Insektizidmaßnahmen wurden nach betriebsüblicher Praxis entsprechend den Richtlinien der integrierten Produktion durchgeführt.

### **2.2 Behandlungen und Applikationstechnik**

Alle Applikationslösungen wurden mit einer Rückenspritze ausgebracht, wobei die eingesetzte Wassermenge umgerechnet 1000 l/ha (0,7 l Spritzbrühe/Baum) entsprach. Eine Kontamination der Versuchsbäume zwischen den Reihen durch Abdrift konnte durch Spannen einer Folie während der Behandlung vermieden werden. Als vorbeugende Maßnahme zur Reduktion des Primärinokulums in Form von Ascosporen wurde das Falllaub der Versuchsanlage während der Wintermonate mehrmals gehäckselt.

#### **2.2.1 Fungizide**

Folgende Fungizide wurden verwendet:

- DELAN SC 75® (Dithianon)
- DITHANE ULTRA WG® (Mancozeb)
- SCALA® (Pyrimethanil)
- SYSTHANE 6W® (Myclobutanil)
- VISION® (Pyrimethanil + Fluquinconazol).

Die Behandlungen der Bäume fanden vor und nach Knospenaufbruch sowie vor und nach der Ernte statt. Die Anzahl der Anwendungen variierte in Abhängigkeit von der Versuchsfrage (Tab. 1, 2, 3 u. 4).

### 2.2.2 Behandlungen

Folgende Behandlungen wurden zur Kontrolle der Primärinfektionen zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt.

Tab. 1: Aufwandmengen, Behandlungsbeginn und Anzahl der Applikationen der Fungizide, welche **einmalig** im Abstand von zehn Tagen zur Reduktion des Primärinokulums vor Knospenaufbruch (BBCH 51) eingesetzt wurden

<b>Behandlung</b>	<b>Behandlungsbeginn</b>	<b>Aufwandmenge</b>	<b>Wirkstoffmenge</b>
SCALA®	21.03.2000	0,375 l/ha => 200 g a.i./ha	400 g a.i./l
DITHANE ULTRA WG®	21.03.2000	2 kg/ha	750 g a.i./kg
DELAN SC®	21.03.2000	0,5 l/ha	750 g a.i./l

Tab. 2: Aufwandmengen, Behandlungsbeginn und Anzahl der Applikationen der Fungizide, welche **viermal** im Abstand von zehn Tagen zur Reduktion des Primärinokulums vor Knospenaufbruch (BBCH 51) eingesetzt wurden

<b>Behandlung</b>	<b>Behandlungsbeginn</b>	<b>Aufwandmenge</b>	<b>Wirkstoffmenge</b>
SCALA®	21.03.2000	0,375 l/ha => 200 g a.i./ha	400 g a.i./l
DITHANE ULTRA WG®	21.03.2000	2 kg/ha	750 g a.i./kg
DELAN SC®	21.03.2000	0,5 l/ha	750 g a.i./l

Tab. 3: Aufwandmengen, Behandlungsbeginn und Anzahl der Applikationen der Fungizide, welche **viermal** im Abstand von zehn Tagen zur Reduktion des Primärinokulums nach Knospenaufbruch (BBCH 53) eingesetzt wurden

<b>Behandlung</b>	<b>Behandlungsbeginn</b>	<b>Aufwandmenge</b>	<b>Wirkstoffmenge</b>
DITHANE ULTRA WG®	29.03.1999	2 kg/ha	750 g/kg
SCALA®	29.03.1999	0,750 l/ha => 400 g a.i./ha	400 g a.i./l
SYSTHANE 6W® + DITHANE ULTRA WG®	29.03.1999	0,750 l/ha + 1 kg/ha	60 g a.i./l + 750 g a.i./kg
VISION®	29.03.1999	1 l/ha	200g/l + 5 g/l
SCALA®	31.03.2000	0,375 l/ha => 200 g a.i./ha	400 g a.i./l
SCALA®	31.03.2000	0,750 l/ha => 400 g a.i./ha	400 g a.i./l
DITHANE ULTRA WG®	31.03.2000	2 kg/ha	750 g a.i./kg
DELAN SC®	31.03.2000	0,5 l/ha	750 g a.i./l

Tab. 4: Aufwandmengen und Behandlungsbeginn der Fungizide, welche **einmalig** zur Reduktion des Primärinokulums vor bzw. nach der Ernte eingesetzt wurden

<b>Behandlung</b>	<b>Behandlungstermin</b>	<b>Aufwandmenge</b>	<b>Wirkstoffmenge</b>
SCALA®	05.09.00 / 08.11.00	0,560 l/ha => 300 g a.i./ha	400 g a.i./l
DITHANE ULTRA WG®	05.09.00 / 08.11.00	2 kg/ha	750 g a.i./kg
DELAN SC®	05.09.00 / 08.11.00	0,5 l/ha	750 g a.i./l
VISION®	05.09.00 / 08.11.00	1 l/ha	200 g + 50 g a.i./l

### 2.3 Wetterstation und Schorf-Warnsystem

Mit Hilfe der Wetterstation Lufft-HP 100 (Stuttgart) konnten die notwendigen Klimadaten der OVA Klein-Altendorf (Meckenheim/Rheinland) aufgezeichnet und per Modem an den Pflanzenschutzdienst der Landwirtschaftskammer Rheinland übermittelt werden. Dort wurden die Daten unter Verwendung des 'WELTE'-Systems zur Vorhersage von Infektionsphasen des Apfelschorfs verrechnet und das Ergebnis per Fax bzw. e-mail weitergeleitet.

## **2.4 Erfassung der Befallsentwicklung**

### **2.4.1 Blattbefall**

Zu Beginn erfolgte die Erfassung der Befallsstärke des Apfelschorfs durch Bonitur der durchschnittlich befallenen Blattfläche von drei Referenzästen pro Baum. Dies geschah unter Verwendung folgender Schätzklassen: 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 und 100 %.

Ab August 1999 wurde der Anteil der mit Schorf befallenen Blätter an der Gesamtmenge vorhandener Blätter geschätzt. Die Bonitur der Bäume erfolgte von jeder Reihenseite, so dass zwei Werte pro Baum ermittelt wurden, und unter Verwendung der oben genannten Schätzklassen.

### **2.4.2 Fruchtbefall**

Zur Erfassung des Fruchtbefalls wurden während der Vegetation sechs zufällig entnommene Früchte pro Baum bezüglich ihres Schorfbefalls bonitiert. Durch Verrechnung konnte der Anteil befallener Früchte pro Baum bestimmt werden. Zusätzlich wurden im Juni die Anzahl Läsionen pro Frucht ausgezählt und im September die befallene Fruchtoberfläche anhand folgender Boniturklassen geschätzt: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 und 100%.

Die Ernte erfolgte parzellenweise. Durch die anschließende Sortierung konnte neben der Anzahl befallener Früchte auch der Anteil von Früchten der Handelsklasse I mit der für ‚Gloster‘ vorgeschriebenen Fruchtgröße (70 - 85 mm) ermittelt werden (Qualitätssortieranlage Typ MSE 2000 der Fa. GREEFA, CCD-Kamera).

## **2.5 Statistische Auswertung**

Bei Vorliegen von Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden die Versuchsdaten einer Varianzanalyse unterzogen. Die Signifikanzen zwischen behandelten und nicht behandelten Varianten eines Versuches wurden mit Hilfe multipler Mittelwertsvergleiche (Grenzdifferenztest nach ‚TUKEY‘ bzw. ‚SCHEFFÉ‘) ermittelt (KÖHLER et al. 1994). Die Durchführung aller Tests erfolgte unter Zuhilfenahme der Statistiksoftware ‚STATGRAPHICS‘, Rockville, Maryland, USA.



### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Witterungsdaten und Infektionsperioden nach WELTE zur Zeit der Primärinfektionen von Ende März bis Ende Mai

Im Jahr 1999 wurden durch das Schorfprognosemodell von WELTE zahlreiche, kurze Infektionsperioden mit Ascosporenausstoß berechnet. Aufgrund fehlender Niederschläge waren nicht alle erfolgreich (Abb. 1).

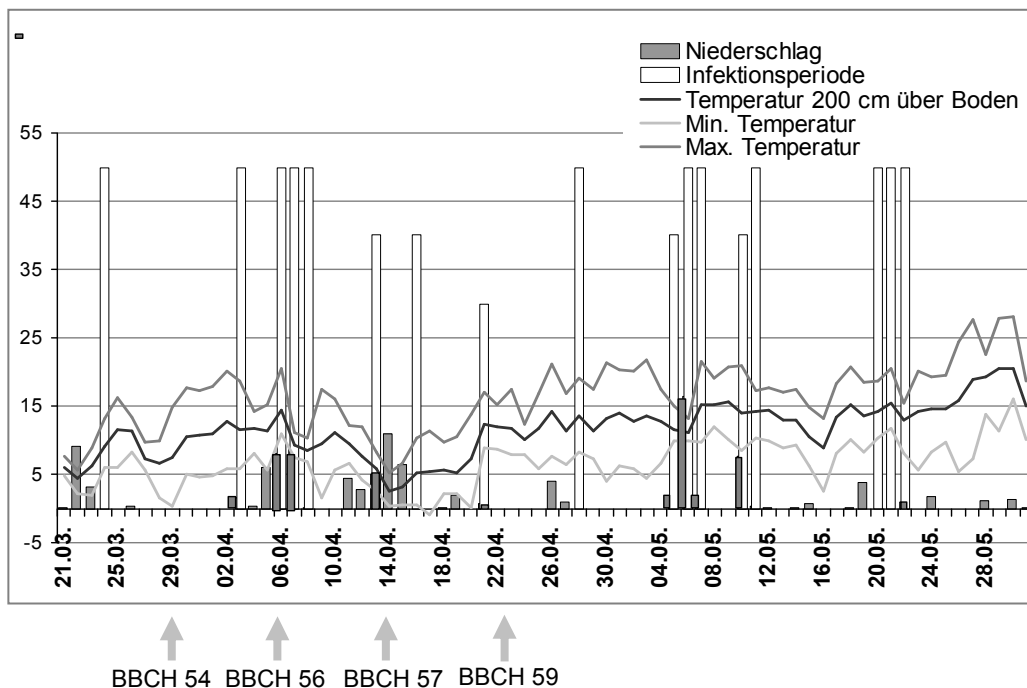


Abb. 1: Witterungsdaten und Infektionsperioden nach WELTE im Frühjahr 1999 zur Zeit der Primärinfektionen von Ende März bis Ende Mai

Im Frühjahr des Versuchsjahres 2000 konnten weniger, aber länger andauernde Phasen intensiven Ascosporenausstoßes mit gegebenen Infektionsbedingungen beobachtet werden. Zur Zeit der ersten Behandlungen vor Knospenaufbruch waren die Witterungsbedingungen, d.h. ausreichende Blattfeuchte durch Niederschläge und Temperaturen über 0°C, für eine Infektion gegeben. Jedoch wurde aufgrund des fehlenden Ascosporenausstoßes keine Infektionsperiode durch das Schorfprognosemodell angezeigt (Abb. 2).

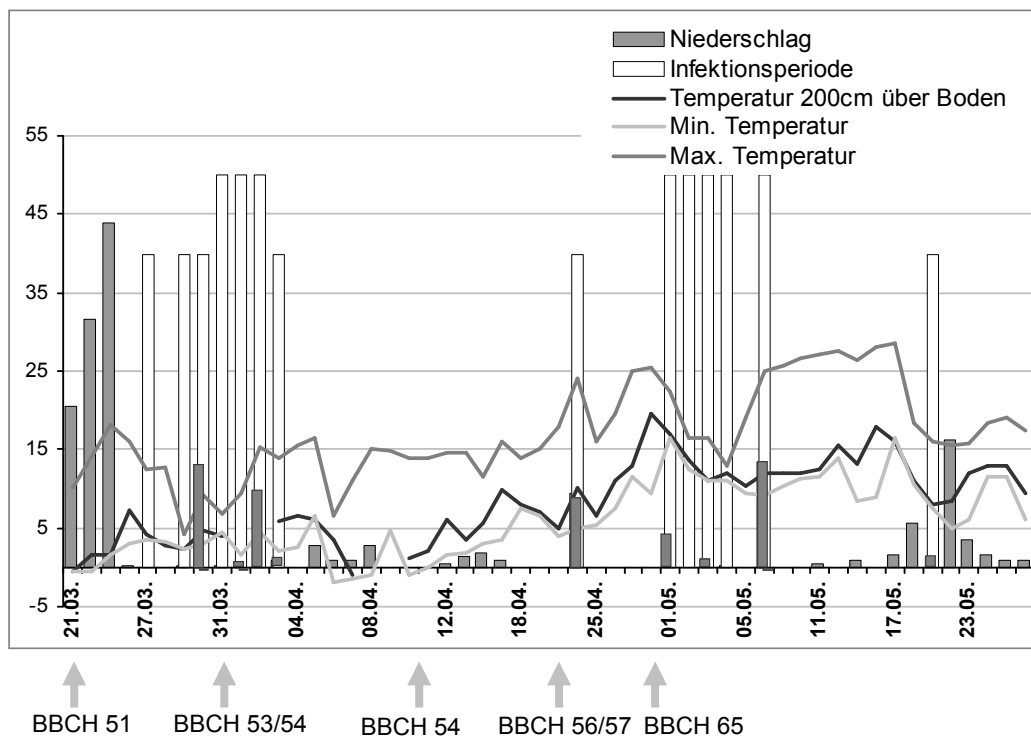


Abb. 2: Witterungsdaten und Infektionsperioden nach WELTE im Frühjahr 2000 zur Zeit der Primärfektionen von Mitte März bis Ende Mai

### 3.2 Bedeutung früher Infektionen für die Entwicklung des Blattschorfbefalls und Möglichkeiten zur Kontrolle

Die unbehandelten Kontrollbäume zeigten in beiden Versuchsjahren trotz Reduktion der Ascosporenquellen durch mehrmaliges Häckseln hohe Schorfbefallsintensitäten auf den Blättern (Abb. 3). Im zweiten Versuchsjahr wurden Symptome des Apfelschorfs auf dem Blatt ca. zwei Wochen früher als im ersten Jahr beobachtet. Als Folge dieser früheren Befallsentwicklung zeigte die Bonitur im August des zweiten Versuchsjahres im Vergleich zum August 1999 einen höheren Anteil befallener Blätter (Abb. 4 u. 7).

Einmalige Fungizidbehandlungen, bereits vor Knospenaufbruch durchgeführt, hatten keinen Einfluss auf die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis*. Einzige Ausnahme stellte der Wirkstoff Dithianon des Fungizids DELAN® dar, dessen einmalige Applikation vor Knospenaufbruch den Blattbefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um ca. 50% reduzierte (Abb. 4).

**Abb. 3 a****Abb. 3 b**

Abb. 3: Unterschiede des Blattbefalls von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der Fungizidmaßnahme

- a) Blattbefall an unbehandelten Bäumen
- b) Blattbefall an den mit Fungiziden behandelten Bäumen

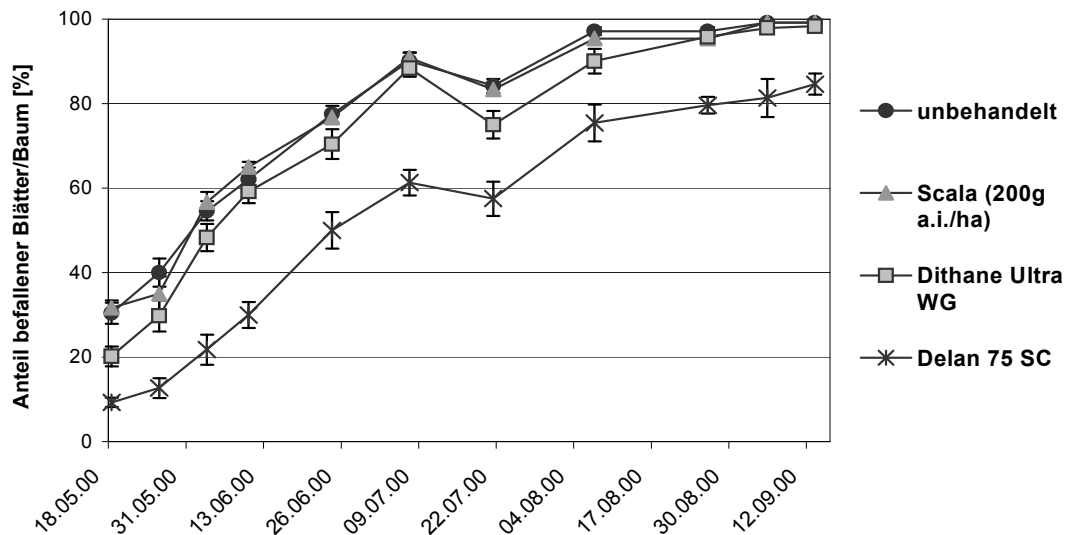


Abb. 4: Blattbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – einmalige Behandlung vor Knospenaufbruch (Anteil befallener Blätter, Standardfehler bei  $p = 0,05$ )

Wurden diese einmaligen Behandlungen vor Knospenaufbruch durch drei weitere Behandlungen mit Dithianon (DELAN®) im Abstand von jeweils zehn Tagen ergänzt, konnten deutliche Befallsreduktionen auf dem Blatt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bis zum Ende der Vegetationsperiode festgestellt werden. Auch die beiden anderen Fungizide SCALA® und DITHANE ULTRA WG® reduzierten bei viermaliger Anwendung die Anzahl befallener Blätter pro Baum im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bis zum Ende der Vegetationsperiode um mindestens 30% (Abb. 5).

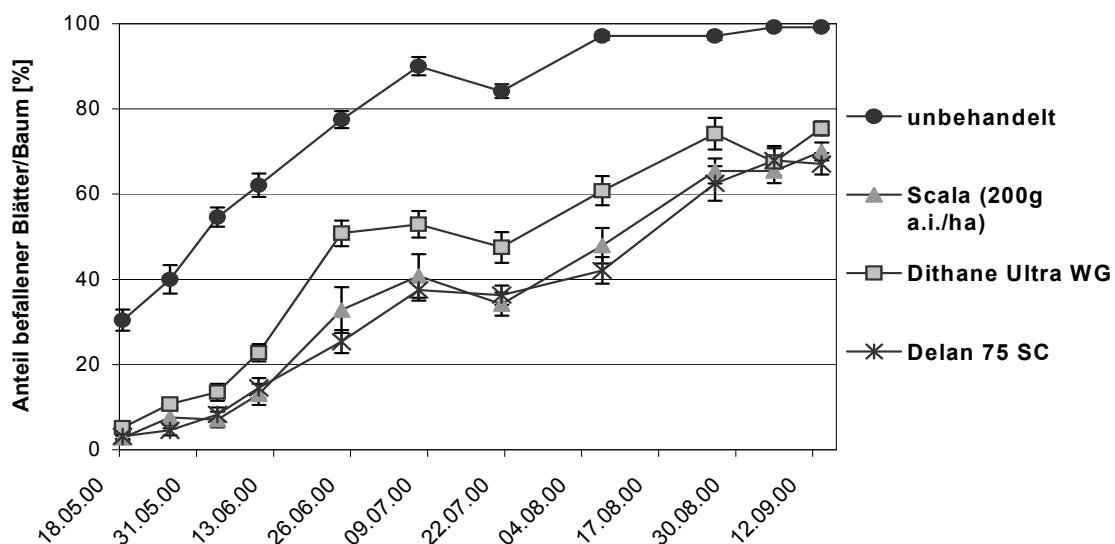


Abb. 5: Blattbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – viermalige Behandlung, Beginn vor Knospenaufbruch (Anteil befallener Blätter, Standardfehler bei  $p = 0,05$ )

Erfolgte die erste der viermaligen Fungizidapplikationen zu Beginn der Vegetationsperiode, d.h. erst bei Knospenaufbruch, war eine noch deutlichere Reduktion der Befallsentwicklung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle zu beobachten (Abb. 6, 7 u. 8). Die deutlichste Befallsreduktion wurde als Folge der Behandlungen mit Pyrimethanil (SCALA®) erfasst. Auch in halber Aufwandmenge reichte die viermalige Anwendung dieses kurativen Fungizids aus, um den Blattbefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um mindestens 60% zu mindern (Abb. 6, 7 u. 8).

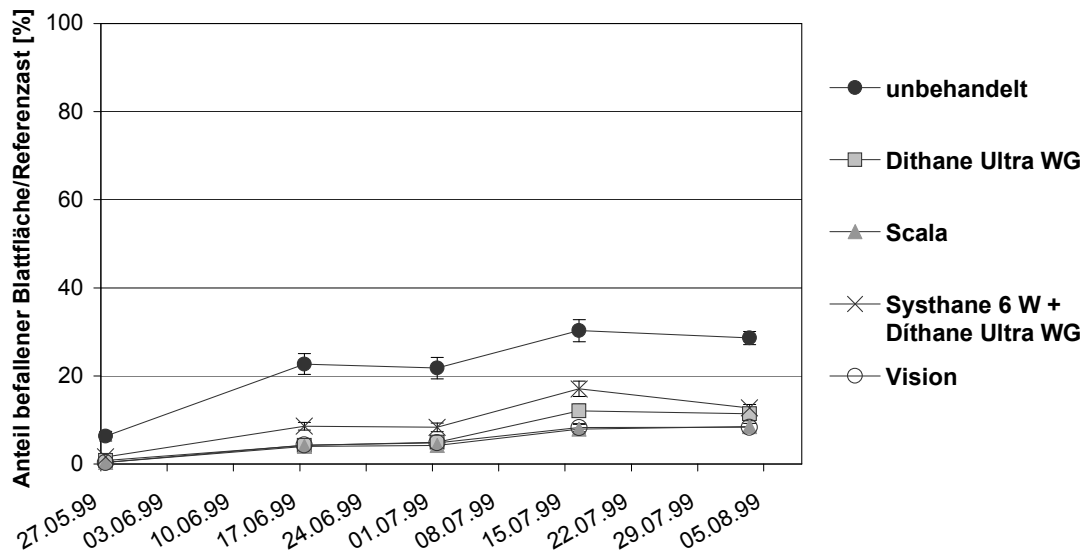


Abb. 6: Blattbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme (Anteil der befallenen Blattfläche an Referenzästen, Standardfehler bei  $p = 0,05$ )

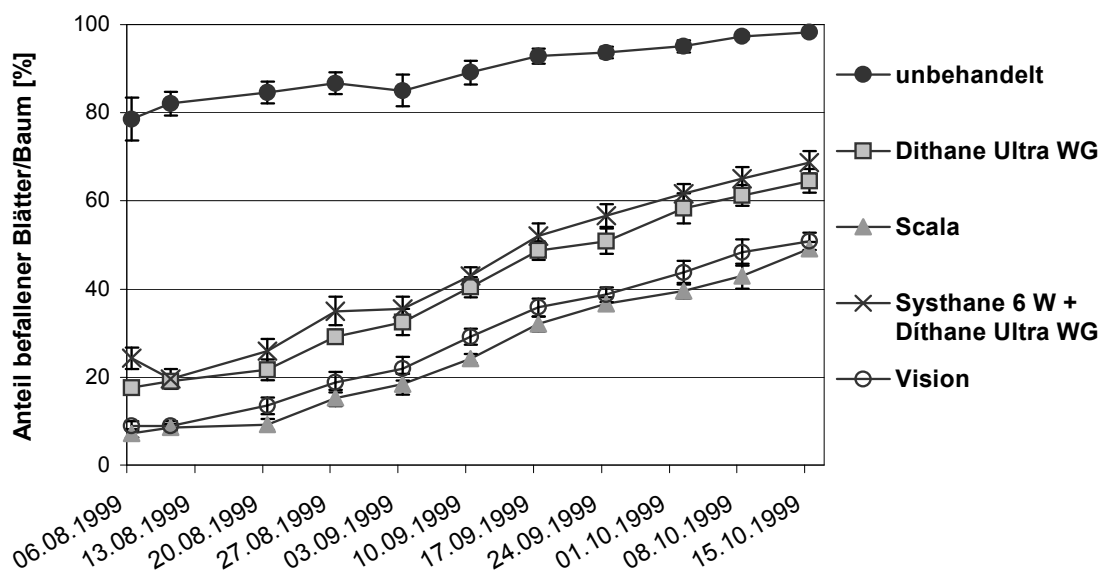


Abb. 7: Blattbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme (Anteil befallener Blätter, Versuch 1999, Sorte ‚Gloster/M9‘, Standardfehler  $p = 0,05$ )

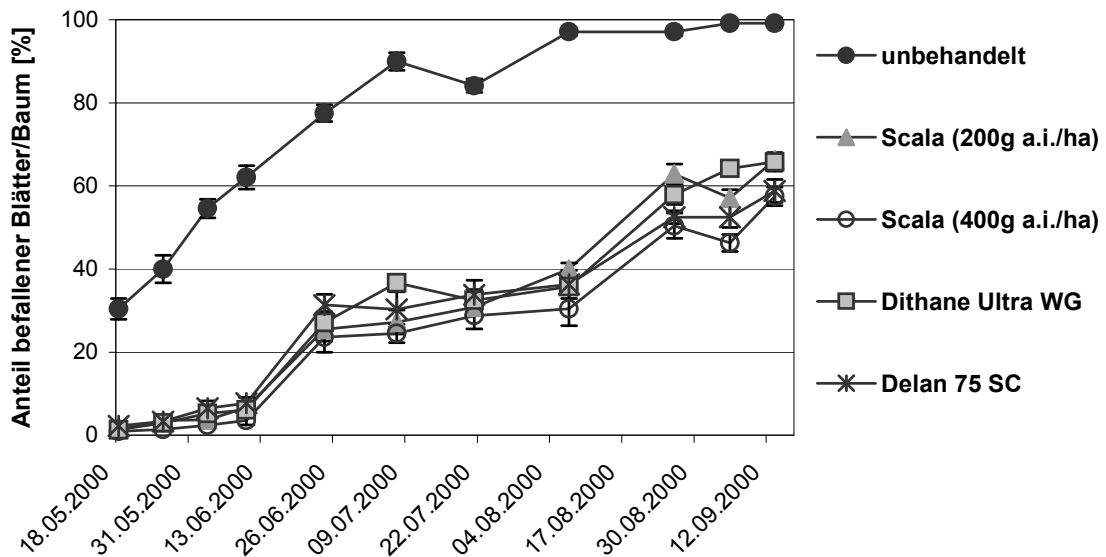


Abb. 8: Blattbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – viermalige Behandlung, Beginn nach Knospenaufbruch (Anteil befallener Blätter, Standardfehler bei  $p = 0,05$ )

### 3.3 Bedeutung früher Infektionen für die Entwicklung des Fruchtschorfbefalls und Möglichkeiten zur Kontrolle

Anhand des Ausmaßes der geschädigten Fruchtoberfläche bzw. der Ausprägung der Symptome kann der Infektionszeitraum der Früchte eingegrenzt werden. Je früher in der Fruchtentwicklung eine Infektion stattfindet, desto größer sind die Läsionen an den Früchten. Stark befallene Früchte wurden demnach kurz nach der Blüte zu Beginn der Fruchtentwicklung infiziert, während Lagerschorf auf zum Erntetermin sehr kleine bzw. noch nicht sichtbare Läsionen zurückzuführen ist (Abb. 9).

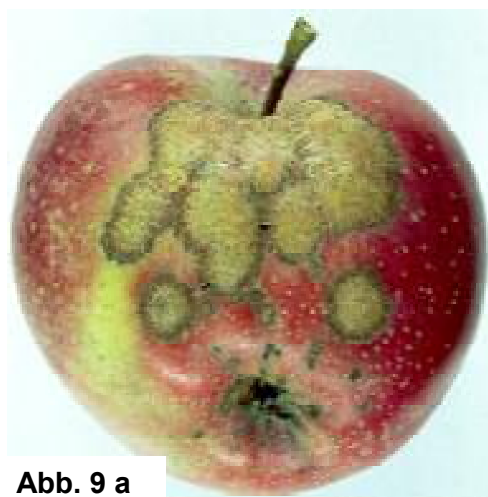
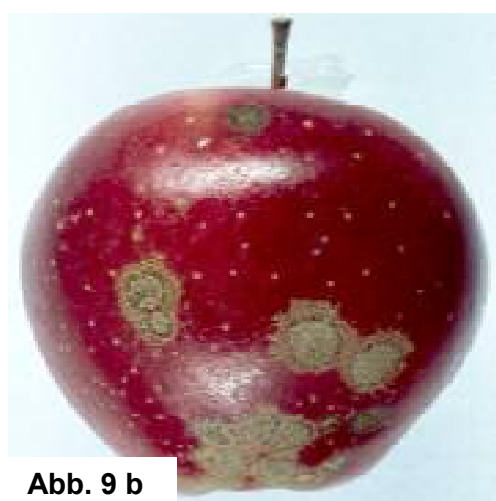
**Abb. 9 a****Abb. 9 b****Abb. 9 c**

Abb. 9: Ausmaß des Apfelschorfbefalls an Früchten in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Infektion

- a) Große Befallsstellen an der Frucht als Folge früher Infektionen
- b) Mittlere, inaktive Infektionsstellen an der Frucht als Folge früher Infektionen
- c) Kleine Befallsstellen an der Frucht als Folge später Infektionen im Laufe des Sommers

Die Entwicklung des Schorfbefalls auf der Frucht wies mit den Studien zum Einfluss der Maßnahmen auf den Blattschorfbefall vergleichbare Ergebnisse auf. Die Anzahl befallener Früchte lag entsprechend den geringeren Blattbefallsintensitäten im ersten Versuchsjahr niedriger als bei der Versuchswiederholung im Folgejahr.

Hohe Anteile befallener Früchte reduzierten den Anteil marktfähiger Früchte der unbehandelten Kontrollen deutlich. Nur 10% der geernteten Früchte konnten im Jahr 2000 als Handelsklasse I vermarktet werden. Im Jahr 1999 wurden von unbehandelten Bäumen 20% Früchte der Handelsklasse I geerntet (Abb. 10 u. 12).

Bei Beginn der Behandlungen vor Knospenaufbruch reduzierte DELAN® bei einmaliger Anwendung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und den beiden anderen Fungiziden den Anteil befallener Früchte und erhöhte die Menge von Früchten der Handelsklasse I. Dieser Unterschied konnte aber statistisch nicht abgesichert werden (Abb. 10).

Durch die viermaligen Fungizidbehandlungen zur Reduktion der Primärinfektionen konnte der Anteil gesunder und der Anteil als Handelsklasse I vermarktungsfähiger Früchte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich erhöht werden (Abb. 11, 12 u. 13).

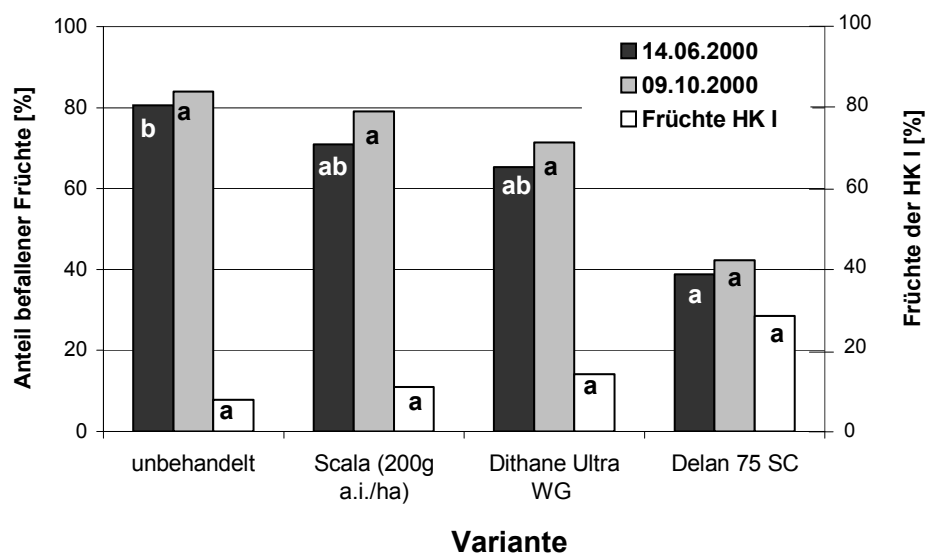


Abb. 10: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* und Anteil von Früchten der Handelsklasse I (HK I) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – einmalige Behandlung vor Knospenaufbruch (Anteil befallener Früchte, Anteil Früchte der Handelsklasse I, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )



Wurden die einmaligen Behandlungen vor Knospenaufbruch durch drei weitere Fungizidapplikationen im Abstand von jeweils zehn Tagen ergänzt, so erzielten alle der ausgewählten Fungizide deutliche Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle. Zwischen den Maßnahmen wurde kein Unterschied beobachtet. Einzige Ausnahme stellte DITHANE ULTRA WG® dar. Zur Ernte war der Unterschied zur Kontrolle statistisch nicht mehr absicherbar (Abb. 11).

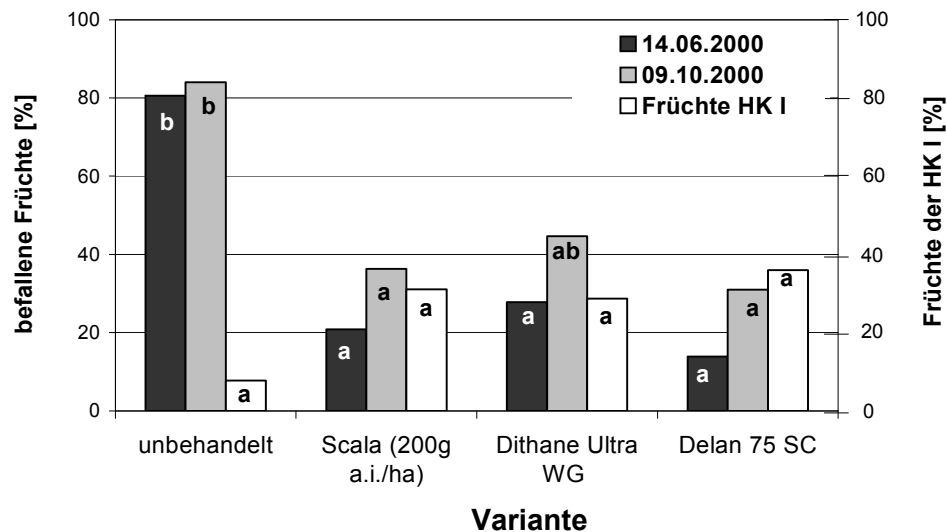


Abb. 11: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* und Anteil von Früchten der Handelsklasse I (HK I) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme - viermalige Behandlung, Beginn vor Knospenaufbruch (Anteil befallener Früchte, Anteil Früchte der Handelsklasse I, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Begannen die Behandlungen nach Knospenaufbruch so erwies sich SCALA® in der empfohlenen Aufwandmenge von 400 g a.i./ha als beste Variante im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Zwischen den Fungiziden konnten aber keine statistisch absicherbaren Unterschiede beobachtet werden (Abb. 12 u. 13).

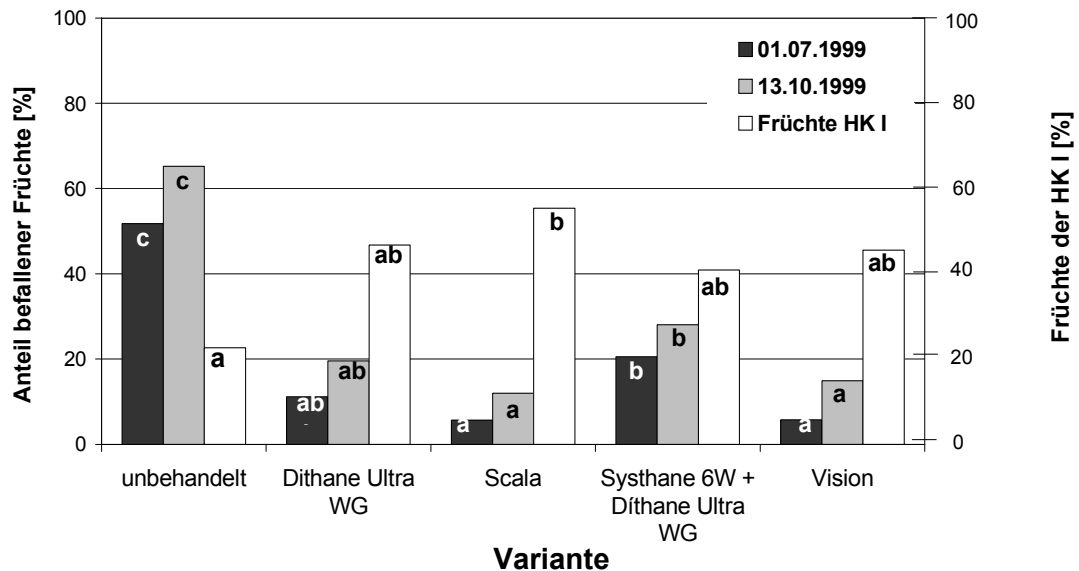


Abb. 12: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* und Anteil von Früchten der Handelsklasse I (HK I) in Abhängigkeit von der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme - viermalige Behandlung, Beginn nach Knospenaufbruch (Anteil befallener Früchte, Anteil Früchte der Handelsklasse I, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

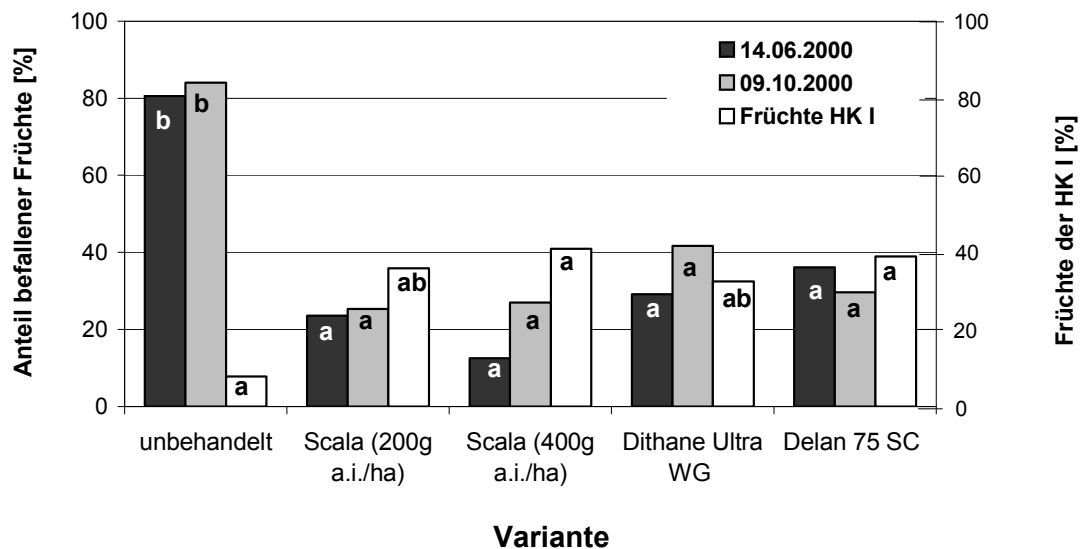


Abb. 13: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* und Anteil von Früchten der Handelsklasse I (HK I) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme - viermalige Behandlung, Beginn nach Knospenaufbruch (Anteil befallener Früchte, Anteil Früchte der Handelsklasse I, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Als Folge der verschiedenen Fungizidmaßnahmen wurde nicht nur der Anteil befallener Früchte pro Baum reduziert, sondern auch die Anzahl der Läsionen bzw. die befallene Oberfläche pro Frucht verringert. Hier war der Unterschied einer einmaligen Applikation von DELAN® im Vergleich zur unbehan-

delten Kontrolle statistisch absicherbar. Die Befallshäufigkeit auf der Frucht wurde als Folge dieser Behandlung um mehr als 50% verringert (Abb. 14).

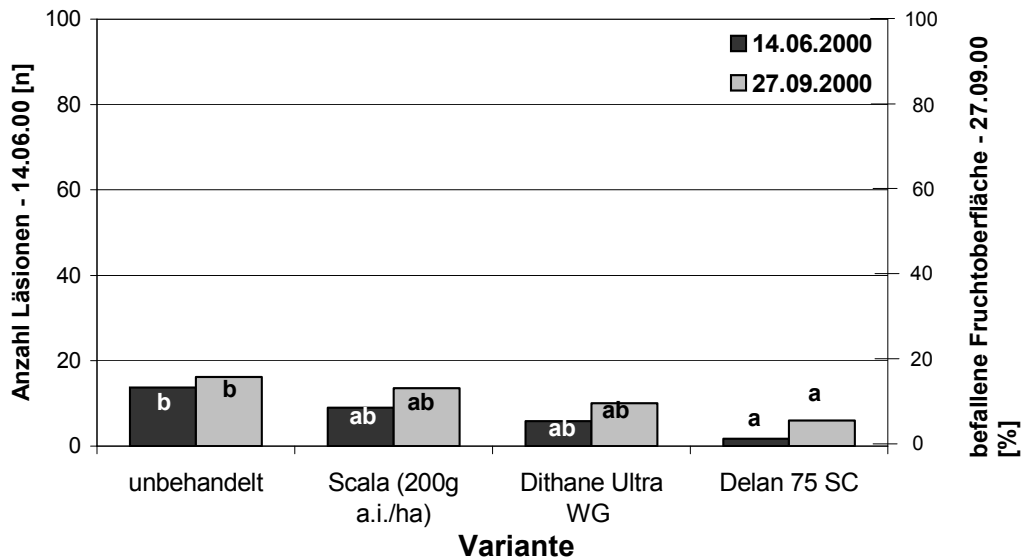


Abb. 14: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – einmalige Behandlung vor Knospenaufbruch (befallene Fruchtoberfläche, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Bei dieser Art der Bonitur und nach viermaliger Applikation der Fungizide mit Beginn der Behandlungen vor Knospenaufbruch zeigte Pyrimethanil (Scala®) auch bei halbierter Aufwandmenge sehr gute Ergebnisse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Es traten aber keine Unterschiede zwischen den Behandlungen auf (Abb. 15).

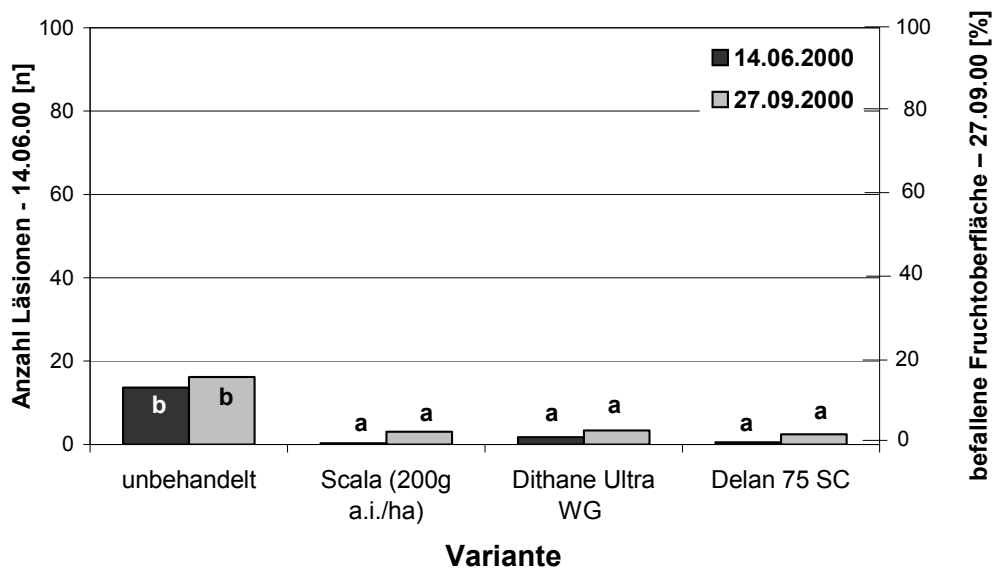


Abb. 15: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – viermalige Behandlung, Beginn vor Knospenaufbruch - (befallene Fruchtoberfläche, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Begannen die Behandlungen erst nach Knospenaufbruch, so wurden im Vergleich zum Start der Fungizidmaßnahmen vor Knospenaufbruch höhere Befallsintensitäten auf der Fruchtoberfläche beobachtet (Abb. 15 u. 16). Bei der ersten Bonitur zeigten nur die beiden SCALA®-Varianten statistisch absicherbare Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle. Kurz vor der Ernte waren die Früchte aller Behandlungen im Vergleich zu Früchten der unbehandelten Kontrolle deutlich weniger befallen (Abb. 16).

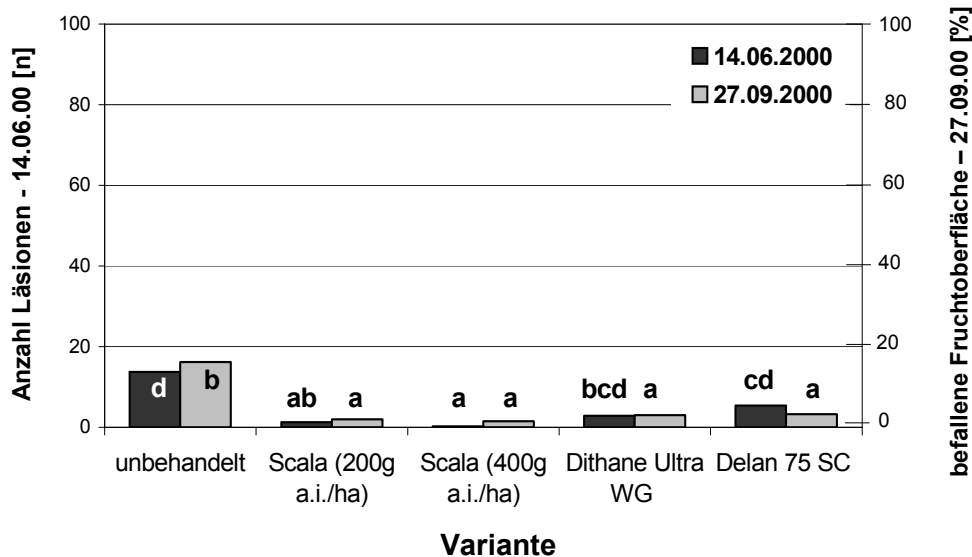


Abb. 16: Fruchtbefallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahme – viermalige Behandlung, Beginn nach Knospenaufbruch - (befallene Fruchtoberfläche, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.4 Einfluss der Intensität des Blattschorfbefalls auf die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* im Folgejahr

Vier Behandlungen mit Pyrimethanil zu Beginn der Vegetationszeit reichten aus, um Blatt- aber auch Fruchtschorf im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bis zum Herbst deutlich zu reduzieren (Abb. 5 u. 6). Anhand der Bonitur zu Beginn der nächsten Vegetationsperiode konnte der Einfluss der Befallsintensität im Herbst auf die Etablierung des Erregers *Venturia inaequalis* im folgenden Frühjahr beobachtet werden. So traten im Mai 2000 deutliche Unterschiede der Befallshäufigkeit zwischen den behandelten Bäumen und den unbehandelten Kontrollbäumen des Versuches aus dem Jahr 1999 auf (Abb. 17).

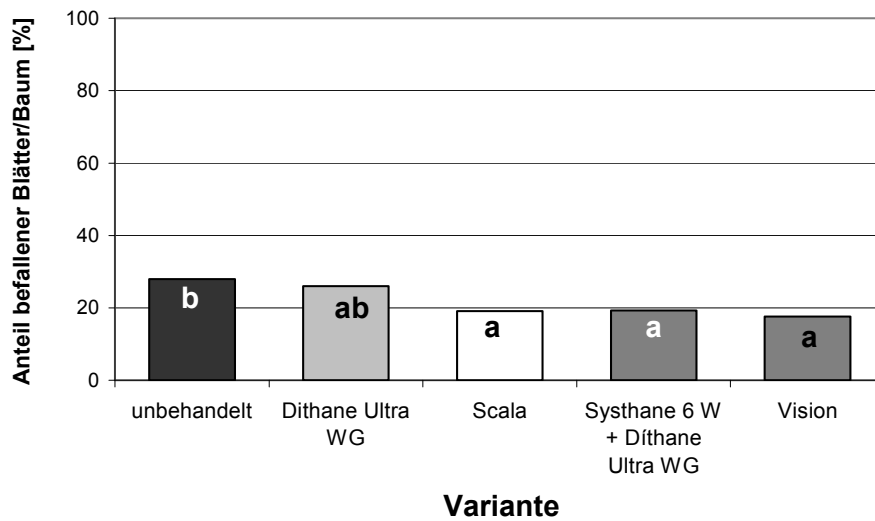


Abb. 17: Einfluss der Blattbefallsintensität von *Venturia inaequalis* im Herbst auf die Befallsentwicklung im Frühjahr des Folgejahres (Anteil befallener Blätter, Versuchsbeginn 1999, Bonitur im Mai 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Bei der Versuchswiederholung waren keine Differenzen zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten zu verzeichnen, obwohl sich deren Befallsintensitäten im Herbst voneinander unterschieden (Tab. 1, Abb. 4, 5 u. 8). Einmalige Fungizidbehandlungen unbehandelter Bäume im Herbst, appliziert vor bzw. nach der Ernte der Früchte, beeinflussten die Überwinterung bzw. die Etablierung des Erregers im darauffolgenden Frühjahr nicht (Tab. 5).

Tab 5: Einfluss der Blattbefallsintensität von *Venturia inaequalis* im Herbst auf die Befallsentwicklung im Frühjahr des Folgejahres (Anteil befallener Blätter, Versuchsbeginn 2000, Bonitur im Juli 2001, Scheffè-Test bei  $p = 0,05$ )

<b>Variante</b>	<b>Behandlungsbeginn/ Anzahl Behandlungen</b>	<b>Anteil befallener Blätter/ Baum [%]</b>
Unbehandelte Kontrolle	-	51,7 (a)
SCALA® (200 g a.i./ml)	21.03.00, 1 Beh.	60,47 (a)
DITHANE ULTRA WG®	21.03.00, 1 Beh.	60,47 (a)
DELAN SC 75®	21.03.00, 1 Beh.	59,27 (a)
SCALA® (200 g a.i./ml)	21.03.00, 4 Beh.	50,47 (a)
DITHANE ULTRA WG ®	21.03.00, 4 Beh.	53,87 (a)
DELAN SC 75®	21.03.00, 4 Beh.	48,87 (a)
SCALA ® (200 g a.i./ml)	31.03.00, 4 Beh.	49,27 (a)
SCALA ® (400 g a.i./ml)	31.03.00, 4 Beh.	55,07 (a)
DITHANE ULTRA WG ®	31.03.00, 4 Beh.	62,97 (a)
DELAN SC 75®	31.03.00, 4 Beh.	62,27 (a)
SCALA ® (300 g a.i./ml)	05.09.00, 1 Beh.	62,27 (a)
DITHANE ULTRA WG ®	05.09.00, 1 Beh.	55,87 (a)
DELAN SC 75®	05.09.00, 1 Beh.	56,37 (a)
VISION®	05.09.00, 1 Beh.	61,37 (a)
SCALA ® (300 g a.i./ml)	08.11.00, 1 Beh.	57,17 (a)
DITHANE ULTRA WG ®	08.11.00, 1 Beh.	61,37 (a)
DELAN SC 75®	08.11.00, 1 Beh.	61,37 (a)
VISION ®	08.11.00, 1 Beh.	62,17 (a)

## 4 DISKUSSION

Die überragende Bedeutung des Primärinokulums für die Befallsentwicklung und -intensität während der Vegetationsperiode wurde bereits von vielen Autoren beschrieben (ADAMS 1925, PALMITER 1946, HIRST u. STEDMAN 1962, BURCHILL u. HUTTON 1965, GADOURY u. MACHARDY 1986) und konnte durch die Ergebnisse der vorliegenden Studien auch für das rheinische Anbaugebiet bestätigt werden.

Aufgrund der durch das Schorfprognosemodell nach WELTE berechneten Infektionsperioden war folgender Zusammenhang zwischen Ascosporenflug und Befallsreduktionen durch die Behandlungen erkennbar: Im zweiten Versuchsjahr wurden Symptome des Apfelschorfs auf dem Blatt ca. zwei Wochen früher als im ersten Jahr beobachtet. Als Folge der zeitigeren Befallsentwicklung wurde im August 2000 im Vergleich zum August 1999 ein höherer Anteil befallener Blätter beobachtet. Diese schnellere und entsprechend stärkere Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* kann auf die Verteilung der prognostizierten Infektionsperioden zurückgeführt werden. Im Frühjahr des Jahres 1999 traten zahlreiche, aber kürzere Infektionsperioden auf, die aufgrund fehlender Niederschläge nur selten erfolgreich waren. Im Gegensatz dazu wurden im Frühjahr des Versuchsjahres 2000 weniger, aber länger andauernde Phasen intensiven Ascosporenausstoßes angezeigt, deren Infektionserfolg aufgrund eintretenden Regens sichergestellt wurde.

Als Folge einer einmaligen Behandlung von Apfelbäumen mit DELAN® (Dithianon), welches am 21.03.2000 vor Knospenaufbruch bei gegebenen Infektionsbedingungen ausgebracht wurde, konnten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und den beiden anderen Fungiziden SCALA® und DITHANE ULTRA WG® Blattbefallsreduktionen um mehr als 50% beobachtet werden. Zu diesem Zeitpunkt wurde noch kein Ascosporenausstoß gemeldet. Die Minderungen des Fruchtschorfbefalls blieben bis zur Ernte sichtbar. Zur Deutung dieser befallreduzierenden Wirkung einer einmaligen, sehr frühen Applikation von DELAN® wurden zwei Interpretationsansätze herangezogen.

Einerseits lässt die unspezifische Wirkungsweise des protektiven Wirkstoffs Dithianon die Vermutung zu, dass neben Ascosporen auch andere Überwinterungsformen von *Venturia inaequalis* an der Etablierung des Erregers beteiligt waren, welche durch die ebenfalls verwendeten Fungizide SCALA® und DITHANE ULTRA WG® nicht erfasst wurden (AMADORI u. HEUPT 1978). Für Pyrimethanil (SCALA®) wird eine sehr spezifische Wirkung gegenüber *Venturia*

*inaequalis* beschrieben. Durch Applikation dieses Wirkstoffes wird die Differenzierung der Laufhyphen, d.h. die Ausbreitung des Erregers nach erfolgreicher Infektion des Wirtsgewebes, unterbunden (DANIELS et al. 1994, MILLING u. DANIELS 1995). Pyrimethanil ist demnach zur Entfaltung seiner Wirkung auf subcuticuläre, wachsende Strukturen des Pathogens angewiesen. Zur Zeit der sehr frühen, ersten Fungizidapplikation wurde, wie bereits erwähnt, nach WELTE noch kein Ascosporenausstoß verzeichnet. In diesem Fall stellten möglicherweise ruhende Strukturen, wie z.B. Myzel in überwinternden Befallsstellen an Trieben und Knospenschuppen bzw. überwinternde Konidien, die noch nicht gekeimt waren, die Inokulumquellen für den ersten Befall, welcher kurz darauf durch Ascosporenfektionen ergänzt wurde. Im Gegensatz zu Pyrimethanil (SCALA®), welches in den eingesetzten Aufwandmengen keine Wirkung gegenüber der Sporenkeimung zeigt (MILLING u. DANIELS 1995), hemmt der Wirkstoff Dithianon (DELAN®) die Sporenkeimung und könnte so die erste Infektion unterdrückt haben.

Da aber der Wirkstoff Mancozeb (DITHANE ULTRA WG®) die Sporenkeimung ebenfalls hemmt (HOCK u. ELSTNER 1995), blieb dieser erste Interpretationsansatz nicht ohne Zweifel. Eine geringere Regenfestigkeit des Fungizids DITHANE ULTRA WG® wurde als mögliche Erklärung in Betracht gezogen. Als Folge der Niederschläge bis zur ersten Infektionsperiode durch Ascosporen wurde Mancozeb schneller abgewaschen, so dass für eine wirkungsvolle Bekämpfung der Sporenkeimung die verbliebene Wirkstoffkonzentration nicht mehr ausreichte. In Untersuchungen zur Regenfestigkeit hat sich DITHANE ULTRA WG® aber als dauerregenbeständigstes Kontaktfungizid herausgestellt (DITZER 2001), so dass die bessere Wirkung von DELAN® demnach nicht auf eine längere Persistenz auf der Baumoberfläche zurückgeführt werden kann. Hierbei muss aber bedacht werden, dass DELAN® in den in der Literatur beschriebenen Studien als wasserlösliches Granulat eingesetzt wurde, in den vorliegenden Untersuchungen aber die SC-Formulierung Verwendung fand. Nach einer persönlichen Mitteilung von DITZER ist die SC-Formulierung in ihrer Regenfestigkeit jeder WG-Formulierung überlegen. Aus diesem Grund muss die verbesserte Persistenz von DELAN® als mögliche Ursache für die im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutliche Befallsreduktion nach einmaliger Applikation des Fungizids in Betracht gezogen werden.

Aufgrund dieser Überlegungen kann weder die Überwinterung von Konidien und Myzel noch die verbesserte Regenfestigkeit als Ursache für die Befalls-



reduktionen des Apfelschorfs auf Blatt und Frucht nach einmaliger Applikation von DELAN® gänzlich abgelehnt werden.

Durch den viermaligen Einsatz der ausgewählten Fungizide zu Beginn der Vegetationsperiode konnte der Primärbefall unterdrückt, die daraus entstehenden Inokulumquellen der Sekundärinfektionen deutlich reduziert und Befallsunterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen bis zur Ernte sowohl auf Blättern als auch auf Früchten beobachtet werden. Diese Ergebnisse verdeutlichten, dass auch im Rheinland die Etablierungsphase des Apfelschorfs im Frühjahr ausschlaggebend für die Befallsintensität auf Blättern und Früchten während der weiteren Vegetationsperiode ist. Der Befallsdruck des Apfelschorfs im Vergleich zu anderen Apfelanbaugebieten war aber deutlich geringer, da vier Behandlungen ausreichten, um noch nach fünf Monaten Befallsunterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen beobachten zu können.

Im Jahr 2000 wurden insgesamt sechs Infektionsperioden mit ausreichendem Ascosporenflug gemeldet. Am 30.03.00, am 02.04.00, am 21.04.00 sowie am 01.05.00 und am 05.05.00. Diese möglichen frühen Infektionen konnten durch die vier im Abstand von zehn Tagen applizierten Fungizidbehandlungen, welche am 31.03.00 nach Knospenaufbruch begannen, erfolgreich kontrolliert werden. Nur der letzte gemeldete intensive Ascosporenausstoß wurde nicht mehr unterdrückt, da die Behandlungen bereits am 30.04.00 endeten, so dass nach annähernd drei Wochen vermutlich nicht mehr genug Wirkstoff auf Blatt- und Fruchtoberflächen zur Verfügung stand. Begannen die vier aufeinanderfolgenden Fungizidmaßnahmen bereits vor Knospenaufbruch, d.h. am 21.03.00, so endeten sie entsprechend zehn Tage früher. Aus diesem Grund waren die Wirkstoffkonzentrationen auf Blättern und Früchten Anfang Mai, zur Zeit der vorletzten Infektionen, deutlich niedriger als auf den Bäumen, deren Behandlungen nach Knospenaufbruch begannen, so dass bereits zu diesem Zeitpunkt eine zuverlässige Kontrolle des Erregers schwierig war. Dies spiegelt sich in den etwas höheren Befallsintensitäten dieser Varianten wieder und bestätigt, dass die Höhe des Befalls von *Venturia inaequalis* auch im Rheinland von der Intensität und dem Zeitpunkt der ersten Infektionen abhängig ist. Aufgrund der Baumtreue der Konidien kann eine Befallsetablierung durch Zuflug während der Phase der Sekundärinfektionen vernachlässigt werden.

Die von MACHARDY et al. (1993) gezeigte Verzögerung der ersten Behandlung bei niedrigem Primärinokulumpotenzial bis zum Stadium ‚Rote Knospe‘ (BBCH 57/59) wäre den in beiden Versuchsjahren ermittelten Infektionsperioden zufolge riskant gewesen. Bei Verzicht auf frühe Behandlungen trotz eintretender Infektionsbedingungen sind die Kelchblätter besonders gefährdet, welche das erste Grün der Apfelknospen im Frühjahr darstellen und bereits bei BBCH 51/53 erscheinen (KENNEL u. MOOSHERR 1983, KENNEL 1987). Die ersten Kelchblätter erschienen im Jahr 2000 bereits Ende März. Gleichzeitig fanden aber auch die ersten durch die Schorfwarndienste gemeldeten Infektionsperioden statt. Der von MACHARDY et al. (1993) empfohlene Behandlungsbeginn wäre erst vier Wochen später, d.h. Ende April eingetreten und die Gefahr einer frühen Infektion von Kelchblättern, jungen Blättern und Knospen entsprechend groß. Im Gegensatz zu Laubblättern und Knospenschuppen fallen infizierte Kelchblätter nicht ab, sondern verbleiben während der gesamten Vegetationsperiode an der Frucht. Befallsstellen an Kelchblättern befinden sich demnach immer in direkter Nähe zu den anfälligen Früchten und dienen während der gesamten Vegetationsperiode als Inokulumquelle für Sekundärinfektionen (KENNEL u. MOOSHERR 1983). Bei Auftreten von Kelchblattschorf konnten KEITT u. JONES (1926) im Vergleich zu Bäumen ohne Läsionen an Kelchblättern 75% mehr befallene Früchte feststellen. Ein zu später Behandlungsbeginn erlaubt somit die erste Befallsetablierung und erhöht die Gefahr einer unzureichenden Bekämpfung, da entsprechend der Literatur früher Schorfbefall zu Befallsentwicklungen führt, die im weiteren Verlauf der Vegetation nur noch schwer und unvollständig kontrolliert werden können (RÜEGG und TAMM 1997).

VAN DER SHEER (1980) stellte im Gegensatz zu anderen Autoren fest, dass das Auftreten und das Ausmaß von frühem Blattschorfbefall nur schlecht mit Auftreten und Ausmaß befallener Früchte zur Ernte korreliert. Die dargestellten Versuche aber zeigten, dass aufgrund frühen und hohen Blattschorfbefalls an unbehandelten bzw. nicht ausreichend behandelten Bäumen der Anteil von Früchten der Handelsklasse I bzw. der Anteil gesunder Früchte zum Erntetermin deutlich reduziert wurde. Dies verdeutlicht, dass neben den Ernteverlusten aufgrund vorzeitigen Fruchtfalls die wenigen verbleibenden Früchte zum größten Teil nicht vermarktbar sind, und dass je früher und stärker der Blattbefall auftritt, desto stärker auch das Ausmaß des Fruchtbefalls ist. Durch vier Fungizidbehandlungen zu Beginn der Vegetation konnte sowohl der Blattschorfbefall als auch der Fruchtschorfbefall bis zum Erntetermin auf ein ökonomisch vertretbares Maß verringert werden. Die jüngsten

Stadien von Früchten sind auch die anfälligsten, und entsprechend der Entwicklung bei Blättern setzt auch bei diesen Pflanzenorganen eine ontogenetische Resistenz ein. Früchte, die bereits sehr früh starke Befallssymptome aufweisen, fallen meist zur Zeit des Junifruchtfalles ab (KEITT u. JONES 1926, KENNEL u. MOOSHERR 1983, TOMERLIN u. JONES 1983, SCHWABE et al. 1984, MACHARDY 1996). Unseren Untersuchungen zufolge resultierten aus hohen primären Blattbefallsintensitäten ein hoher Anteil befallener Früchte sowie starke Befallsintensitäten auf der Frucht zum Erntetermin.

Der Literatur zufolge wird für Anilinopyrimidine, zu denen auch das Fungizid SCALA® bzw. dessen Wirkstoff Pyrimethanil gezählt wird, eine geringe Wirkung auf den Fruchtschorfbefall im Vergleich zur Blattbefallsreduktion beschrieben. Innerhalb dieser Untersuchungen wurden die klassischen fungiziden Wirkstoffe, wie z.B. Captan, Mancozeb und Tolyfluanid, mit Pyrimethanil und Cyprodinil verglichen (CREEMERS et al. 1995). Anhand der vorliegenden Untersuchungen konnte kein Unterschied zwischen Blatt- und Fruchtbefallsreduktionen als Folge der viermaligen Behandlungen mit Pyrimethanil beobachtet werden. Aufgrund der Blattbefallsreduktionen wurde auch bei halber Aufwandmenge des Wirkstoffs Pyrimethanil den Blattbefallsminderungen entsprechend eine reduzierte Anzahl befallener Früchte und eine verminderte Befallsintensität auf der Frucht festgestellt.

Zum ausbleibenden Erfolg der einmaligen Fungizidbehandlung von bis dahin unbehandelten Apfelbäumen im Herbst können folgende Überlegungen angestellt werden. In der Literatur werden verschiedene chemische Behandlungen zur Reduktion der Pseudothecienbildung beschrieben (BURCHILL u. HUTTON 1965, BURCHILL u. COOK 1970, LATORRE 1972). Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen wurde meist durch ihre negativen Umwelteinflüsse, ihre Phytotoxizität und/oder das verstärkte Potential der Entwicklung von Fungizidresistenzen überschattet. Trotzdem wurden im Verlauf der vorliegenden Studie einmalige Herbstbehandlungen mit ausgewählten Fungiziden vor bzw. nach der Ernte zur Ermittlung der Bedeutung dieser Kontrollmöglichkeiten des Apfelschorfs durchgeführt. Während der darauffolgenden Vegetationsperiode konnte kein Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen beobachtet werden. Hierfür stehen wiederum verschiedene Erklärungsansätze zur Verfügung. Der späte Zeitpunkt der Befallsbewertung ist auf die langsame Entwicklung des Befalls von *Venturia inaequalis* an den Versuchsbäumen im Jahr 2001 zurückzuführen, weshalb geringfügige Befallsunterschiede eventuell nicht erfasst werden konnten. Die Ergebnisse geben aber auch Anlass zu der Vermutung, dass Ascosporen und überwintern-

de Konidien gleichzeitig zur Verfügung standen und so keine Befallsunterschiede sichtbar werden konnten. Möglicherweise trat der Befall aber auch verspätet auf, da durch die Fungizidbehandlungen im Herbst des Vorjahres geringere Mengen befallenen Falllaubs vorhanden waren, weniger Pseudothecien gebildet wurden, entsprechend weniger Ascosporen heranreiften und die Primärinfektionen reduziert waren (MILLER 1970, LATORRE 1972). Diese Vermutung stünde aber im Gegensatz zu den Resultaten der beiden vorherigen Versuchsjahre, in welchen trotz der Reduktion des Falllaubs hohe Befallsintensitäten im Frühjahr beobachtet wurden. Obwohl die Menge der heranreifenden Ascosporen durch mehrmaliges Häckseln des Falllaubs deutlich reduziert wurde (SUTTON et al. 2000), waren in diesen beiden Versuchsjahren hohe Befallsintensitäten auf Blatt und Frucht zu beobachten, wenn der Primärbefall nicht durch Fungizidmaßnahmen kontrolliert wurde.

Ascosporen werden durch Wind über weite Strecken transportiert und rufen in der Regel eine Befallsentwicklung hervor, welche nicht auf einzelne Bäume begrenzt bleibt (MACHARDY 1996). Konidien werden selten über längere Strecken transportiert, so dass ihre Weiterverbreitung räumlich begrenzt auf den befallenen Baum und seine direkten Nachbarn ist (AYLOR u. SANOGO 1997). Dadurch ließen sich auch Unterschiede in der Befallsentwicklung direkt benachbarter Bäume erklären, wie sie im Jahr 2000 als Folge der Fungizidbehandlungen im Jahr 1999 an den Versuchsbäumen zu beobachten waren. Die Befallssituation im Mai des Folgejahres ähnelte der Intensität des Blattschorfbefalls zum Erntezeitpunkt des Vorjahres. Es konnten kurzfristig deutliche Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen beobachtet werden. Bei einem ausschließlichen Befall durch Ascosporen wäre eine gleichmäßigere Verteilung innerhalb der Anlage aufgrund der verteilenden Wirkung des Häckslers bzw. bei einem Eintrag von Ascosporen aus einer benachbarten Anlage ein Abnehmen des Apfelschorfbefalls vom Rand zur Mitte der Anlage hin zu erwarten. Die Überwinterung asexueller Strukturen des Erregers *Venturia inaequalis*, welche die Befallsentwicklung intensivieren, kann als Erklärungsansatz dieser Ergebnisse herangezogen werden. Dies widerspricht aber Beobachtungen von HEIJNE u. ANBERGEN (1999), die keine Zunahme der Primärinfektionen als Folge überwinternder Konidien beschreiben. Die eigenen Versuchsergebnisse verdeutlichen aber, dass für die Befallsetablierung von *Venturia inaequalis* in der untersuchten Anlage das Inokulum innerhalb des Quartiers von ausschlaggebender Bedeutung war. Denn trotz der direkten Nähe einer stark befallenen Anlage in nur 200 Meter Entfernung wurden Unterschiede zwischen den behandelten

und unbehandelten Bäumen beobachtet, welche bei Zuflug aus einer anderen Anlage nicht hätten auftreten können.

Die besonders deutliche Wirkung der zur Zeit der gemeldeten Infektionsperioden mit Ascosporenausstoß eingesetzten Fungizide bestätigt die herausragende Bedeutung der Ascosporen. Trotz der Reduktionen des Falllaubs und einer dadurch bedingten Verringerung heranreifender Ascosporen war noch ausreichend Inokulum vorhanden, so dass bereits Mitte Mai 30% aller Blätter von unbehandelten Bäumen Befallssymptome von *Venturia inaequalis* aufwiesen. ALEXANDER u. LEWIS (1975) stellten fest, dass selbst bei einer 99%igen Reduktion des Falllaubs noch ausreichend Inokulum für die Entwicklung eines bedeutenden Schorfbefalls zurückbleibt. Grundsätzlich aber kann die Überwinterung von Konidien und Myzel im Baum und eine mögliche Intensivierung des Primärbefalls aufgrund dieser Primärinokulumquellen im rheinischen Apfelanbau nicht ausgeschlossen werden, da keine zuverlässigen Erfassungsmethoden zu Verfügung stehen. Konidien werden hauptsächlich durch Regentropfen von einem Blatt auf das nächste übertragen und nur selten in Sporenfallen gefangen, da sie aufgrund ihres Gewichtes weniger durch Wind transportiert werden (MACHARDY 1996, AYLOR u. SANOGO 1997). Überwinterndes Myzel ist von dieser Erfassungsmethode grundsätzlich ausgenommen. Die beschriebenen Schwierigkeiten der Bonitur und das standortbedingte Auftreten mindern die Zuverlässigkeit von allgemeinen Aussagen zur Überwinterung von Konidien und Myzel des Apfelschorferregers *Venturia inaequalis* im Baum.

Grundlage einer zuverlässigen Kontrolle von *Venturia inaequalis* sind genaue Kenntnisse über das Auftreten der Infektionsbedingungen sowie über die Zusammensetzung des Primärinokulums. Vier Fungizidbehandlungen reichten aus, um die erzielten Befallsreduktionen auf Blatt und Frucht bis zur Ernte zu erhalten. Trotzdem stellte sich immer wieder die Frage, ob überwinternde Konidien als zusätzliche Primärinokulumquelle die Befallsintensität des Apfelschorfs unter rheinischen Anbaubedingungen erhöhen können. Dies wurde im folgenden Kapitel der vorliegenden Arbeit genauer untersucht und grundsätzlich bestätigt.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Primärinfektionen waren, wie erwartet, ausschlaggebend für die weitere Befallsentwicklung und –intensität auf Blatt und Frucht während der Vegetationsperiode. Unbehandelte Bäume entwickelten hohe Befallshäufigkeiten an Blatt und Frucht. Bereits im Mai zeigten 30% aller vorhandenen Blätter Schorfsymptome. Hohe Blattbefallshäufigkeiten und –intensitäten zu Beginn der Vegetationsperiode führen zu hohen Anteilen befallener Früchte zum Erntetermin. Dies wurde anhand der verschiedenen Blattbefallsintensitäten, welche durch die unterschiedlichen Behandlungen entstanden, und der entsprechenden Fruchtbefallsentwicklungen deutlich. Demnach kann eine deutliche Beziehung zwischen hohem und frühem Blattbefall und dem Anteil befallener Früchte zum Erntetermin hergestellt werden.

Auch durch mehrmaliges Häckseln des Falllaubs im Herbst und Frühjahr konnte der Apfelschorfbefall nicht ausreichend reduziert werden. Dies gab Anlass zu der Vermutung, dass neben Ascosporen auch andere Überwintungsformen von *Venturia inaequalis* an der Bildung des Primärinokulums beteiligt waren, welche durch die Reduktion des Falllaubs nicht erfasst wurden. Diese Schlussfolgerung wurde durch die befallsreduzierende Wirkung einer einmaligen DELAN®-Behandlung vor Knospenaufbruch unterstützt, da die beiden anderen Wirkstoffe Pyrimethanil (SCALA®) und Mancozeb (DITHANE ULTRA WG®) die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht veränderten. Die unterschiedlichen Befallsintensitäten im Mai 2000 zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen des Behandlungsjahres 1999 ließen sich nicht durch das Auftreten von Ascosporen erklären. Aus diesem Grund wurden auch in diesem Fall überwinternde Konidien und Myzel des Apfelschorfs als mögliche Erklärung herangezogen.

Unter rheinischen Anbaubedingungen reichten vier Behandlungen zu Beginn der Vegetationsperiode aus, um die durch Fruchtschorfbefall bedingten Verluste der marktfähigen Ware um 50% zu verringern. Dies zeigt erneut die überragende Bedeutung der Primärinfektionen für die Befallsentwicklung.

Herbstbehandlungen bis dahin unbehandelter Bäume vor bzw. nach der Ernte konnten die Etablierung von *Venturia inaequalis* im Folgejahr aufgrund der sehr hohen Befallsentwicklung im Herbst und der langsamen Entwicklung des Erregers im Folgejahr der Behandlungen nicht verändern.

## **C Überwinternde Konidien von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. als Primärinokulumquelle im Rheinland**

### **1 EINLEITUNG**

Trotz stetig verbesserter Schorf-Prognosemodelle, der Entwicklung systemischer Fungizide und umfangreicher Kenntnisse zur Epidemiologie des Erregers *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. ist häufig standortbedingt ein hohes Infektionspotential im Frühjahr und ein daraus resultierender schwer zu kontrollierender Befall zu beobachten. *Venturia inaequalis*, der Erreger des Apfelschorfs, überwintert hauptsächlich im Falllaub und durchläuft während dieser Zeit seine sexuelle Phase. Diese endet im Frühjahr mit Bildung, Reife und Ausstoß zahlreicher Ascosporen (ADERHOLD 1896, WINKELMANN et al. 1937, HIRST et al. 1955, JONES u. ALDWINCKLE 1997). Diese Primärinokulumquelle kann in Abhängigkeit von der Witterung durch verschiedene asexuelle Strukturen des Pilzes ergänzt werden. So wird Stroma an Trieben und Knospenschuppen gebildet, welches nach dem Winter Konidien produzieren kann (HESS u. STÖSSER 1986, BECKER u. BURR 1990, MOOSHERR 1990, STENSVAND et al. 1996). Möglicherweise sind Konidien aber auch in der Lage auf äußeren pflanzlichen Oberflächen anhaftend zu überwintern (STENSVAND et al. 1997).

Inokulumquellen, die sich in direkter Nähe zu den anfälligen jungen Blättern, Blüten und Früchten befinden, können unerwartet großen Schaden anrichten und werden in ihrer Bedeutung häufig unterschätzt (KENNEL u. MOOSHERR 1983, KENNEL 1987, BECKER et al. 1992). Kenntnisse über die Zusammensetzung des Primärinokulums, welches die Etablierung des Erregers *Venturia inaequalis* für die kommende Vegetationsperiode begründet, sind für eine ausreichende und zuverlässige Kontrolle unabdingbar. Zur Erfassung der überwinternden asexuellen Strukturen von *Venturia inaequalis* stehen aber bisher keine zuverlässigen Methoden zur Verfügung, welche eine Einbeziehung dieser Primärinokulumquellen in die praxisüblichen Schorf-Warnsysteme ermöglichen. Dies ist zum einen auf die verschiedenen Überwinterungsorte von Konidien und deren punktuelleres Auftreten an einzelnen Bäumen zurückzuführen, zum anderen aber auch auf die Abhängigkeit der Bedeutung dieser Inokulumquellen von regionalen Begebenheiten (HILL 1975, MOOSHERR 1990, BECKER et al. 1992). Im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen wurden Auftreten und Bedeutung überwinternder Konidien für den rheinischen Erwerbsobstanbau erfasst, um deren grundsätzliches Auftreten abzuklären und so die Aussage der Schorf-Warnsysteme zu ergänzen.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Pflanzenmaterial, Pflanzenanzucht und Versuchsstandorte

Alle Versuche unter kontrollierten Bedingungen wurden an Sämlingen von *Malus x Domestica* Borkh. var. 'Golden Delicious' durchgeführt. Nach einer mind. dreiwöchigen Stratifikation bei 4°C wurden die Samen in Saatschalen ausgelegt. Nach Bildung der ersten Laubblätter konnten die Keimlinge in 9 x 9 cm-Kunststofftöpfe getopft werden. Die Anzucht der Pflanzen erfolgte bei 19°C, 65-70% relativer Luftfeuchte und einem 14/10-stündigen Licht/Dunkelrhythmus. Es wurden keine Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

Infektionsversuche zur Überwinterung des Apfelschorfs an Trieben und Knospen wurden an einjährigen Veredelungen der Sorte ‚Golden Delicious/M9‘, an Knippbäumen der Sorte ‚Braeburn/M9‘ sowie an Bäumen der Sorte ‚Gloster/M9‘ (Pflanzjahr 1980) der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Institutes für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn (Meckenheim/Rheinland) durchgeführt. Die Bäume der Sorten ‚Golden Delicious‘ und ‚Braeburn‘ wurden in 10l-Container getopft. Während die Bäume der Sorte ‚Golden Delicious‘ im Freiland aufgestellt wurden, fanden die Inokulationsstudien an den Knippbäumen der Sorte ‚Braeburn‘ im ungeheizten Gewächshaus statt, um die Pflanzen vor Regen zu schützen. Auf diese Weise sollte eine natürliche Verbreitung des Apfelschorfs unterbunden werden, um so den Zeitpunkt der Infektion einzugrenzen. Die Insektizidbehandlungen erfolgten nach betriebsüblicher Praxis entsprechend den Richtlinien des integrierten Pflanzenschutzes.

### 2.2 Inokulumgewinnung und Inokulation

Zur Herstellung einer Konidiensuspension wurden Blätter mit sporulierendem Schorfbefall entweder frisch verwendet oder bei –18°C gelagert. Die Konidien wurden durch Schütteln der Blätter in Leitungswasser suspendiert und mit Hilfe einer Zählkammer auf die benötigte Inokulumdichte eingestellt.

Die Suspension zur Inokulation mit Ascosporen wurde mit befallenem Falllaub aus dem Freiland im Frühjahr nach folgender Methode hergestellt: Nach kurzem Abspülen des Falllaubs mit Pseudothecienbildung unter fließendem



Leitungswasser wurde das Blattmaterial zur Freisetzung der Ascosporen mindestens zwei Stunden in Leitungswasser geschüttelt. Durch anschließende Zentrifugation konnte die Sporenkonzentration der Ascosporensuspension erhöht werden (HERAEUS Varifuge 3.0R der Fa. HERAEUS (Hanau), Tragringrotor 5315, 20 min bei 15°C). Anschließend wurde die benötigte Inokulumdichte auf durchschnittlich 100 000 Sporen ml<sup>-1</sup> eingestellt.

Mit Hilfe eines Handsprühers erfolgte die Applikation der Konidiensuspension auf 4-5 blättrige Apfelsämlinge bis zum Abtropfen. Für den Vergleich der Infektionseffizienz von Konidien und Ascosporen wurden die entsprechenden Sporensuspensionen als 5 µl-Tropfen punktuell auf die Sämlingsblätter aufgetragen.

Zur Erfassung der Wirkung verschiedener Behandlungen auf die Keimrate von Konidien und Ascosporen wurden Platten mit ca. 15 ml Wasseragar (16%ig) gegossen, mit Sporensuspension beimpft und mit Parafilm verschlossen. Die Auswertung erfolgte nach 24 Stunden.

In Abhängigkeit von der Versuchsfrage wurden die inokulierten Pflanzen und Agarplatten bei unterschiedlichen Temperaturen gelagert.

## **2.3 Erfassung der Keimfähigkeit und der Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis***

### **2.3.1 Keimraten**

Die Keimraten der Sporen von *Venturia inaequalis* wurden durch Auszählen von 10 x 10 zufällig gewählten Sporen pro Platte bei zwei Platten pro Variante lichtmikroskopisch bestimmt (AXIOSKOP der Fa. LEICA (Wetzlar), 100fache Vergrößerung).

### **2.3.2 Blattbefall**

Der Schorfbefall wurde unter Verwendung der folgenden Boniturstufen makroskopisch anhand der sporulierenden Befallsflächen auf den Blättern bonitiert: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%. Zusätzlich erfolgte die quantitative Erfassung der befallenen Blätter pro Pflanze.

## 2.4 Lichtmikroskopische Untersuchungen

### 2.4.1 Probenahme und Fixierung

Während der Vegetationsperiode wurden kontinuierlich Blatt- und Blütenknospen von mit Apfelschorf-befallenen Bäumen der Sorte 'Gloster/M9' entnommen und in einer Lösung aus Ethanol (70%), Formaldehyd (40%) und Eisessig, im Verhältnis 90:5:5 fixiert.

### 2.4.2 Schneide- und Färbetechnik und Mikroskopie

Die Einbettung ganzer Knospen erfolgte in Glycolmethacrylat (GRUNEWALDT-STÖCKER 1985, STIERL 1999). Anschließend wurden mit dem Rotationsmikrotom HM 360 der Fa. MICROM (Walldorf) Semidünnschnitte (5-10 µm) angefertigt und nach Anfärbung in einer 0,5%igen Toluidinblau-Lösung (nach STIERL 1999) lichtmikroskopisch (Axioskop der Fa. ZEISS (Wetzlar)) auf das Vorhandensein überwinternder Konidien von *Venturia inaequalis* untersucht.

## 2.5 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Triebspitzen, Rindenstücke und Knospenschuppen wurden entnommen und makroskopisch aber auch mikroskopisch untersucht. Die entnommenen Proben konnten ohne vorherige Fixierung oder Beschichtung im Rasterelektronenmikroskops XL 30 ESEM der Fa. FEI/PHILIPS (Kassel) betrachtet werden. Die Aufnahmen entstanden im 'Low-Vacuum'-Modus bei max. 1 Torr und 4°C unter Verwendung des 'Gaseous Secondary Electrons' (GSE)- sowie des 'Secondary Electrons' (SE)-Detektors.

## 2.6 Statistische Auswertung

Bei Vorliegen von Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden die Versuchsdaten einer Varianzanalyse unterzogen. Die Signifikanzen zwischen behandelten und nicht behandelten Varianten eines Versuches wurden mit Hilfe multipler Mittelwertsvergleiche (Grenzdifferenztest nach 'Tukey' bzw. 'Scheffé') ermittelt (KÖHLER et al. 1994). Die Durchführung aller Tests erfolgte unter Zuhilfenahme der Statistiksoftware 'STATGRAPHICS', Rockville, Maryland, USA.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Vergleich des Infektionspotenzials von Ascosporen und Konidien

Zur vergleichenden Untersuchung des Infektionspotenzials von Ascosporen und Konidien wurden nach Einstellung der beiden Sporensuspensionen auf 100 000 Sporen ml<sup>-1</sup> Keimtests durchgeführt und diese nach 24 Stunden ausgewertet. Die beiden Sporenformen des Apfelschorfs wiesen keine Unterschiede in ihren Keimraten auf (Tab. 1).

Tab. 1: Keimraten von Konidien im Vergleich zur Keimrate von Ascosporen (Plattentest, Bonitur 24 Stunden nach Beimpfung, Tukey-Test bei p = 0,05)

Variante	Gekeimte Konidien [%]
Ascosporen	93,5 (a)
Konidien	93 (a)

Zusätzlich zu den beschriebenen Keimtests auf Agarplatten wurden Apfelsämlinge punktuell inokuliert und für 48 Stunden bei 100 % relativer Luftfeuchte aufgestellt. Die Befallsentwicklung, welche anhand des Anteils befallener Blätter von den inokulierten Blättern erfasst wurde, wies keine Abhängigkeit von der Sporenform auf. Es wurden für beide Sporenformen vergleichbare Befallsentwicklungen auf Sämlingsblättern beobachtet (Abb. 1).

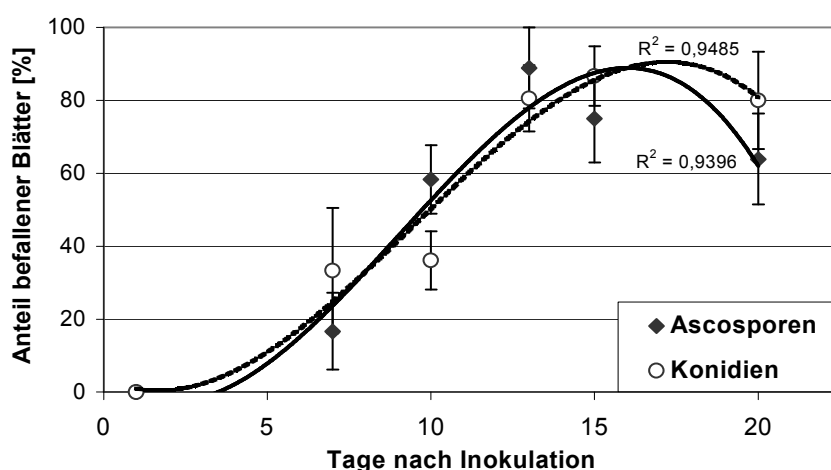


Abb. 1: Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der Sporenform (Anteil befallener Blätter von den inokulierten Blättern, Standardfehler, polynomische Regression 3. Grades)

An beiden Boniturterminen war die durchschnittliche befallene Blattfläche der mit Konidien inokulierten Apfelsämlinge im Vergleich zu den mit Ascosporen inokulierten Blättern geringfügig erhöht. Dieser minimale Unterschied konnte aber statistisch nicht abgesichert werden (Abb. 2).

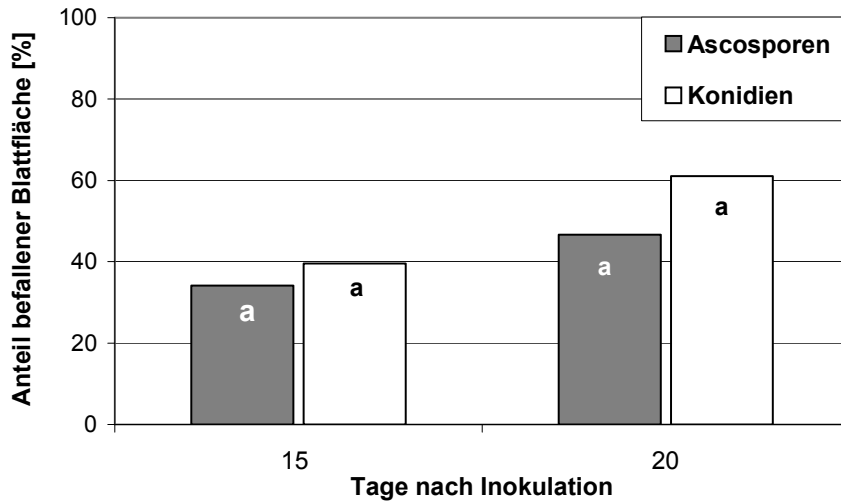


Abb. 2: Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der Sporenform (befallene Blattfläche, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.2 Einfluss niedriger Temperaturen auf die Keimung von *Venturia inaequalis*-Konidien

Die Beeinflussung der Konidienkeimung durch niedrige Temperaturen während der Keimphase wurde anhand von Keimtests untersucht. Mit Konidien-suspension beimpfte Agarplatten wurden für 24 Stunden bei 20°C bzw. bei 4°C gelagert. Nach 24 Stunden wurde die Keimrate bestimmt. Die Keimfähigkeit wurde durch die niedrigere Lagerungstemperatur der beimpften Agarplatten bei 4°C um ca. 10% gesenkt (Tab. 2).

Tab. 2: Einfluss der Temperatur auf die Keimung von *Venturia inaequalis*-Konidien (Plattentest, Auswertung 24 h nach Beimpfung, Lagerung der Platten bei 20°C bzw. bei 4°C, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Variante	Gekeimte Konidien [%]
Lagerung bei 20°C	95 (a)
Lagerung bei 4°C	86 (b)

Zur Untersuchung des Einflusses niedriger Temperaturen vor der Inokulation auf die Keimfähigkeit von Konidien wurden Sämlingsblätter mit sporulierendem Apfelschorfbefall ca. 14 Tage nach der Inokulation entnommen und bei folgenden Temperaturen gelagert:

- a) konstante Temperaturen: 4°C, -5°C (+/- 2°C), -14°C, -20°C,
- b) schwankende Temperaturen: 5 bis 2°C, 2 bis -2°C, -2 bis -5°C, -18°C (als konstante Kontrolle)

Die Probenahme für die Keimtests fand in der ersten Woche täglich und im Anschluss daran für Teil a) wöchentlich statt. Für die Herstellung der Konidien suspension wurden jeweils zwei Blätter pro Variante entnommen. Jeweils zwei beimpfte Agarplatten pro Variante wurden bei 20°C sowie jeweils zwei Platten bei 4°C aufgestellt. Die Erfassung der Keimraten erfolgte 24 Stunden nach der Beimpfung der Agarplatten.

Konstante Temperaturen unter -14°C beeinflussten die Keimfähigkeit der Konidien im Verlauf der drei Wochen Versuchsdurchführung nur geringfügig. Bei 4°C Lagerungstemperatur sank die Keimrate langsam auf ca. 70% ab. Schwankende Temperaturen zwischen 0 und -5°C reduzierten die Keimfähigkeit von Schorfkonidien innerhalb von drei Wochen um bis zu 50%. Trotzdem lag die Keimfähigkeit dieser Konidien immer noch bei mindestens 40% (Abb. 3 u. 5). Die Umgebungstemperatur während der 24 Stunden Keimphase bis zur Bonitur der Platten reduzierte die durchschnittliche Keimfähigkeit aller Varianten bei konstanten Lagerungstemperaturen um ca. 10% (Abb. 3 u. 4).

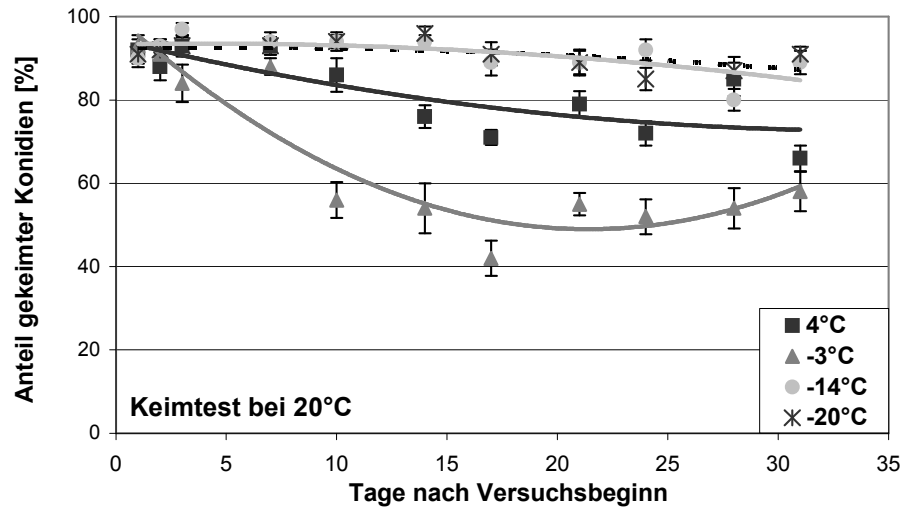


Abb. 3: Einfluss niedriger, aber konstanter Temperaturen auf die Keimfähigkeit von *Venturia inaequalis* (Lagerung der Keimtestplatten bei 20°C, Anteil gekeimter Konidien nach 24 Stunden, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , Trendlinie)

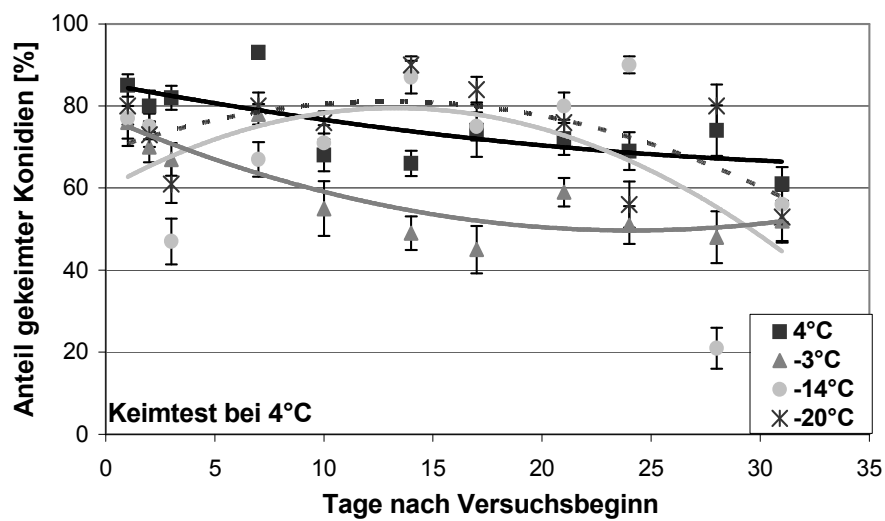


Abb. 4: Einfluss niedriger, aber konstanter Temperaturen auf die Keimfähigkeit von *Venturia inaequalis* (Lagerung der Keimtestplatten bei 4°C, Anteil gekeimter Konidien nach 24 Stunden, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , Trendlinie)

Lagertemperaturen befallener Sämlingsblätter, die von 2 bis 6°C schwankten, beeinflussten die Keimrate der in den Läsionen vorhandenen Konidien nur geringfügig. Als Folge einer um 0°C (+/- 2°C) schwankenden Umgebungstemperatur fiel die Keimfähigkeit der Konidien im Verlauf einer Woche tendenziell um ca. 10-15%. Traten aber Schwankungen um -2°C (+/- 2°C) auf, so reduzierte dieser niedrigere Temperaturbereich die Keimfähigkeit um bis zu 40%. Es konnten keine Veränderungen der Keimrate durch die Temperatur während der 24-stündigen Keimphase beobachtet werden, welche von der bereits erwähnten Minderung um 10% durch die niedrigere Temperatur abweichen. Insgesamt betrachtet wurde auch nach dem Einfluss schwankender Temperaturen auf die befallenen Sämlingsblätter eine Keimfähigkeit von 30% selten unterschritten (Abb. 5 u. 6).

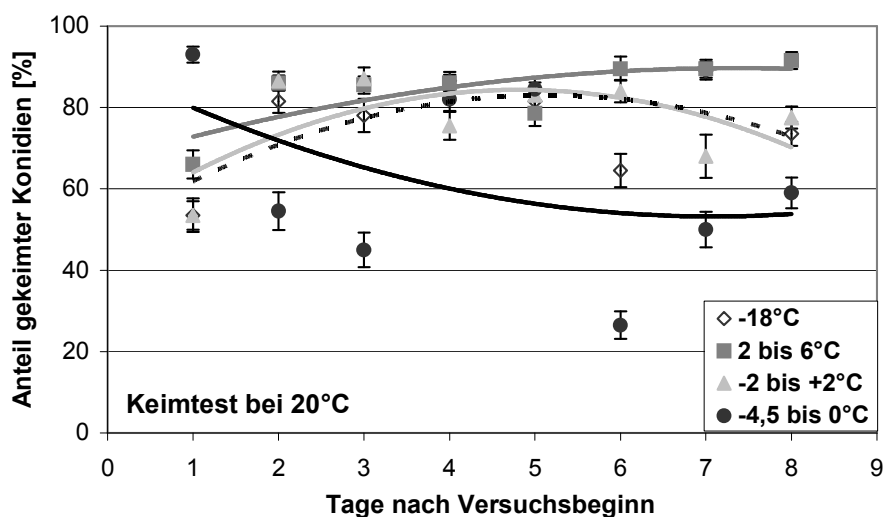


Abb. 5: Einfluss niedriger, aber schwankender Temperaturen auf die Keimfähigkeit von *Venturia inaequalis* (6-stündige Schwankungsintervalle, Lagerung der Keimtestplatten bei 20°C, Anteil gekeimter Konidien nach 24 Stunden, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , Trendlinie)

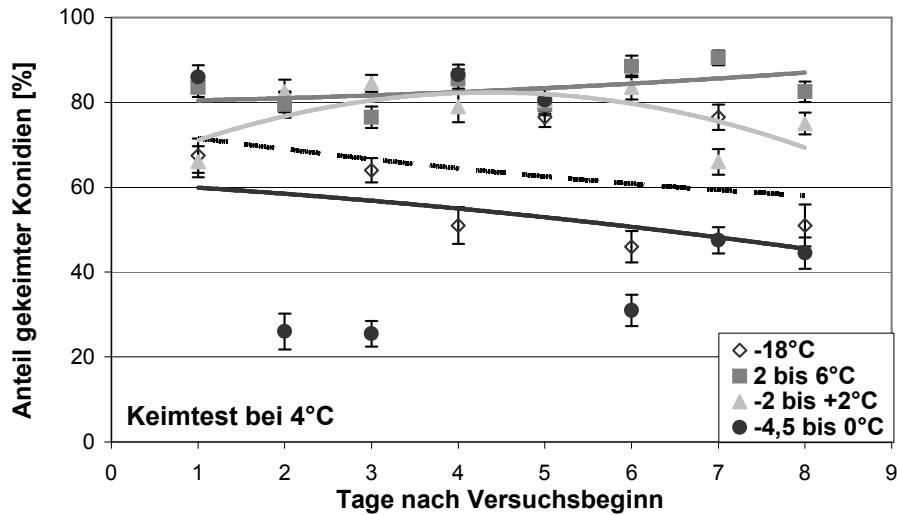


Abb. 6: Einfluss niedriger, aber schwankender Temperaturen auf die Keimfähigkeit von *Venturia inaequalis* (6-stündige Schwankungsintervalle, Lagerung der Keimtestplatten bei 4°C, Anteil gekeimter Konidien nach 24 Stunden, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , Trendlinie)

### 3.3 Einfluss niedriger Temperaturen auf die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis*

Zur Untersuchung des Einflusses niedriger Temperaturen auf die Befallsentwicklung des Apfelschorfs wurden Sämlinge mit Konidien suspension inokuliert und für 48 Stunden, d.h. während der Infektionszeit bei 2°C (+/- 2°C) und die Kontrollpflanzen bei 19°C aufgestellt. Die anschließende Befallsentwicklung fand bis zur Bonitur 14 Tage nach der Inokulation bei 19°C und 65-70% relativer Luftfeuchte statt.

Konidien von *Venturia inaequalis* sind nach den vorliegenden Untersuchungen in der Lage, Sämlingsblätter auch bei Temperaturen um 2°C (+/- 2°C) zu infizieren. Als Folge des niedrigen und schwankenden Temperaturbereiches während der zweitägigen Infektionsphase war die Befallsentwicklung im Vergleich zur Entwicklung unter gleichbleibend warmen Bedingungen 14 Tage nach Inokulation signifikant reduziert (Abb. 7).



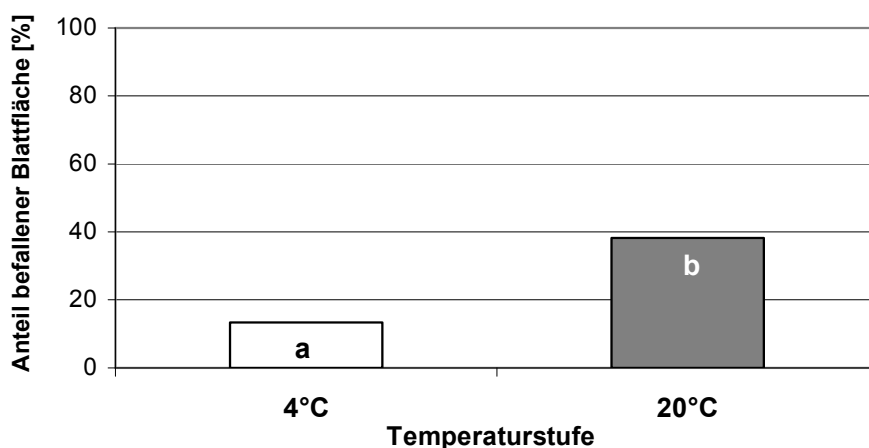


Abb. 7: Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* in Abhängigkeit von der Temperatur während der ersten 48 Stunden nach Inokulation (Bonitur 14 Tage nach Inokulation, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.4 Überwinterung von *Venturia inaequalis*-Konidien unter Freilandbedingungen

Zur Erfassung im Baum überwinternder Konidien unter praxisrelevanten Bedingungen wurden im Herbst, im Winter und im zeitigen Frühjahr einjährige Triebe sowohl mit als auch ohne Holzschorfsymptome von Bäumen der Sorte ‚Gloster/M9‘ mit vorhandenem Blattschorf während der vorhergehenden Vegetationsperiode entnommen. Unter Zuhilfenahme einer 0,5%igen Tween 20-Lösung konnten Konidien abgebürstet und anschließend Keimtests durchgeführt werden.

Im Verlauf der durchgeführten Studien waren mit Ausnahme des Monats November stets zumindest vereinzelte Konidien an befallenen und unbefallenen Trieben zu finden. Auch im Januar und Februar wurden Konidien in geringer Menge abgewaschen. Ab Ende Februar nahm die Anzahl der gefundenen Sporen zu.

Während der Wintermonate wurden bei den durchgeführten Keimtests keine gekeimten Konidien beobachtet. Aufgrund des Zusatzes der 0,5%igen Tween 20-Lösung konnte diese Beobachtung aber nicht gewertet werden, da das Tensid die Keimfähigkeit der Sporen in der verwendeten Konzentration reduzieren kann. Erst ab Ende Februar wurden erneut vereinzelte, gekeimte Konidien beobachtet.

### 3.5 Überwinterung von *Venturia inaequalis* an und in Apfelknospen

Lichtmikroskopische Untersuchungen von sich entwickelnden Apfelknospen mit hohen Blattbefallsintensitäten des Apfelschorfs im angrenzenden Zweigabschnitt zeigten, dass Konidien von *Venturia inaequalis* sowohl außen an Knospenschuppen anhaftend als auch im Inneren sich entwickelnder Knospen zu finden sind (Abb. 8). Konidien im Meristembereich der Knospen wurden aber nur selten beobachtet, während außen anhaftende Konidien dagegen häufig auftraten. Vor Beginn des Winters konnten gekeimte Konidien an Blatthaaren der Knospenschuppen beobachtet, aber keine weiteren Infektionsstadien innerhalb der Trichome gefunden werden (Abb. 8).

Als Folge überwinternder Befallsstellen an äußeren Knospenschuppen konnten bei entsprechender Witterung bereits im zeitigen Frühjahr Konidien produziert werden (Abb. 9). Diese infizierten junge Blätter sowie Blütenstände und riefen dort typische Befallssymptome an Blättern, Kelchblättern und Blütenstielen hervor. Bei sehr starker Befallsentwicklung an Blütenstielen konnte das Absterben der gesamten Blütenknospen vor dem Aufblühen beobachtet werden (Abb. 10).

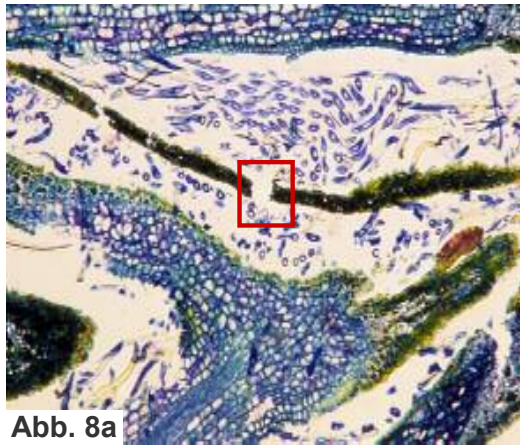


Abb. 8a

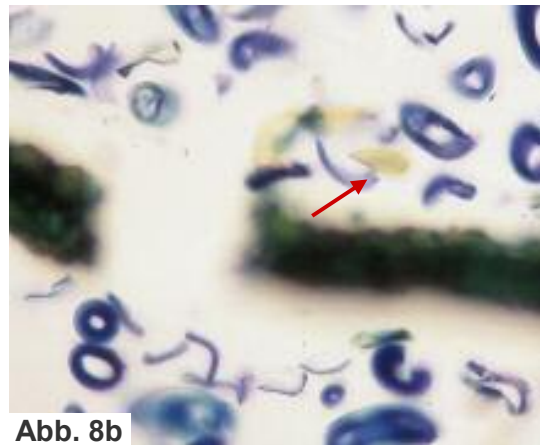


Abb. 8b

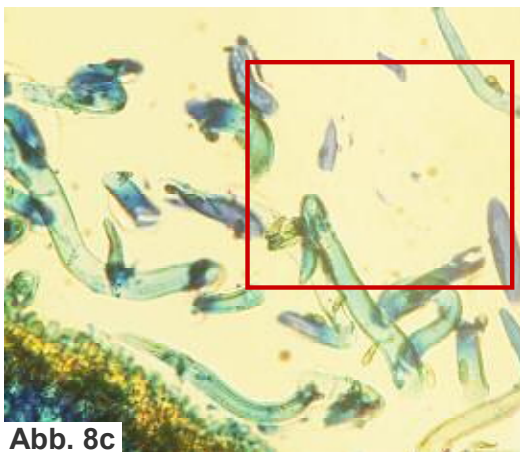


Abb. 8c

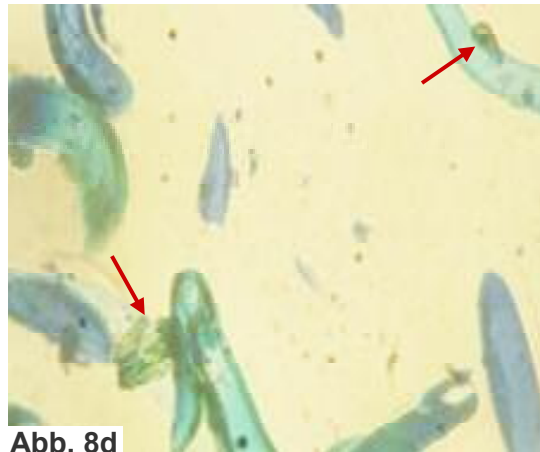


Abb. 8d

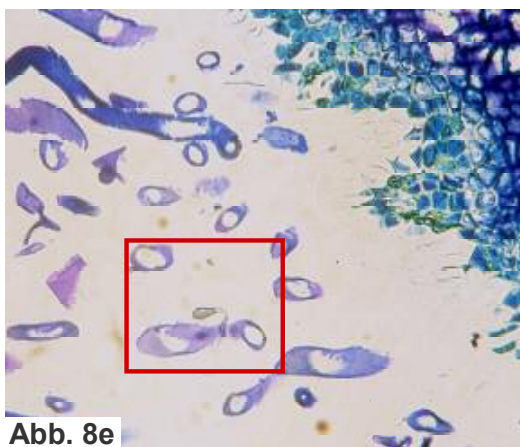


Abb. 8e

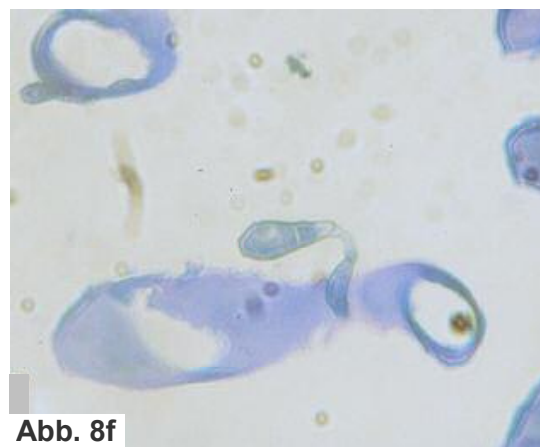


Abb. 8f

Abb. 8: Lichtmikroskopische Aufnahmen von Semidünnschnitten durch Apfelknospen (Probenahme: September 1999, Einbettung in Glykoldimethylacrylat, anschließende Färbung mit Toluidinblau),

- a) Konidie im Inneren sich entwickelnder Blütenknospen, 100fache Vergrößerung
- b) Konidie im Inneren sich entwickelnder Blütenknospen, 400fache Vergrößerung
- c) Außen an Knospen anhaftende Konidien, 200fache Vergrößerung
- d) Außen an Knospen anhaftende Konidien, 400fache Vergrößerung
- e) Außen an Knospen anhaftende, an Blatthaar gekeimte Konidie mit Appressorium, 200fache Vergrößerung
- f) Außen an Knospen anhaftende, an Blatthaar gekeimte Konidie mit Appressorium, 400fache Vergrößerung



Abb. 9a

Abb. 9b

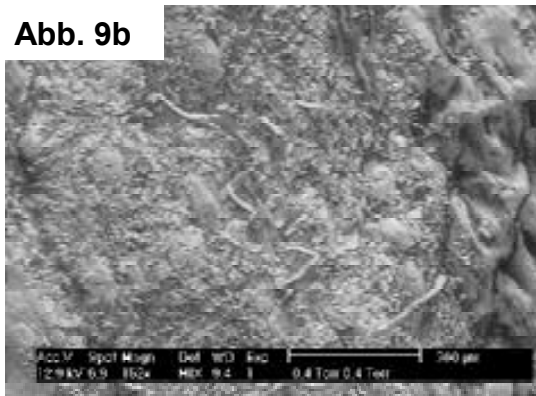


Abb. 9c

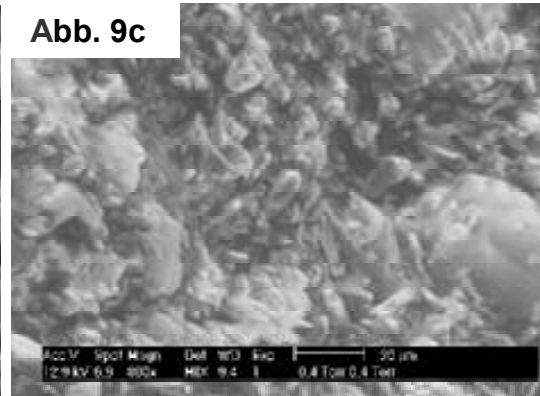


Abb. 9d

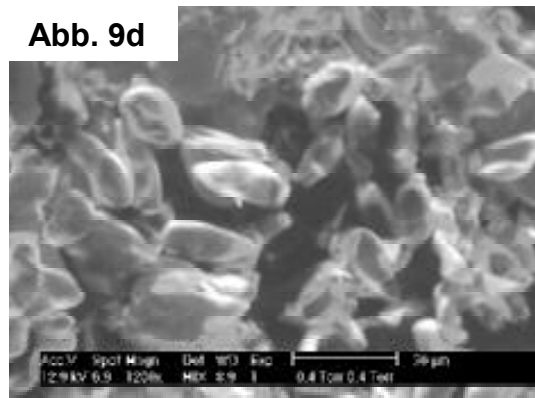


Abb. 9: Läsionen des Apfelschorfs an Knospenschuppen im Frühjahr als Folge überwinternder Konidien (Probenahme im März 2002, Photographie und Rasterelektronenmikroskopie, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- Sporulierende Befallsstelle an einer Knospenschuppe
- Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schorfläsion an der Knospenschuppe (152-fache Vergrößerung)
- Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schorfläsion an der Knospenschuppe (800-fache Vergrößerung)
- Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schorfläsion an der Knospenschuppe (1200-fache Vergrößerung)





Abb. 10a



Abb. 10b



Abb. 10c



Abb. 10d

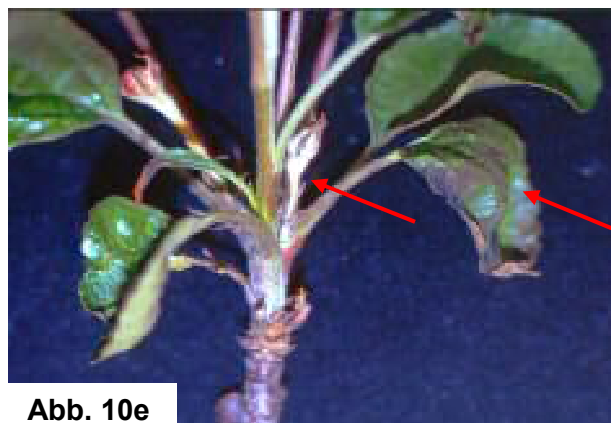


Abb. 10e

Abb. 10: Schorfssymptome an Blättern, Blütenknospen, Kelchblättern und Blütenstielen als Folge von Läsionen an Knospenschuppen im Frühjahr aufgrund überwinternder Konidien (April 2002, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- a) Unbefallene Blütenknospe
- b) Schorfbefallene Blütenknospe
- c) Sporulierende Befallsstelle an einem Kelchblatt
- d) Schorfbefall am Blüten- und Blattstiel, Blattschorf
- e) Abgestorbene Blütenknospe als Folge von Schorfbefall am Blütenstiel

### 3.6 Überwinterung von *Venturia inaequalis* an Apfeltrieben

Die Überwinterung von Konidien und Myzel in Läsionen am Holz sollte als weitere ergänzende Primärinokulumquelle zu den hauptsächlich auftretenden Ascosporen erfasst werden. Hierzu wurden im Freiland einjährige Veredlungen der Sorte ‚Golden Delicious/M9‘ ein-, zwei- bzw. dreimal im Abstand von sieben Tagen inokuliert. Im Anschluss an den 48stündigen Infektionszeitraum unter kontrollierten Bedingungen fand die anschließende Befallsentwicklung im Freiland statt. Auf diese Weise war eine natürliche Weiterverbreitung des Apfelschorfs durch Regen möglich. Am Ende der Vegetationsperiode erfolgte die Erfassung des Anteils befallener Triebe. Die mit Apfelschorf befallene Blattfläche wurde allerdings bereits im August zur Zeit aktiven Schorfbefalls, d.h. vor Beginn des Blattfalls bonitiert.

Diese Versuche zeigten, dass zur Entwicklung von Befallsstellen an jungen Trieben hohe Befallsintensitäten auf den angrenzenden Blättern nötig sind. Die Triebinfektionen traten bevorzugt zur Zeit des letzten Austriebs der Bäume, dem sogenannten Augusttrieb auf (Tab. 3). Zur Infektion der Triebe ist neben hoher Blattbefallsintensitäten ein ausreichender Neutrieb notwendig.

Tab. 3: Einfluss der Blattbefallsintensität von *Venturia inaequalis* auf die Entwicklung von Triebeschorf (befallene Blattfläche bzw. Anteil befallener Triebe, Scheffé-Test bei  $p = 0,5$ )

<b>Variante</b>	<b>bef. Blattfl. [%] am 10.08.2001</b>	<b>bef. Blattfl. [%] am 22.08.2001</b>	<b>Triebe mit Schorf- befall [%] am 19.10.2001</b>
Inokulation am 23.07.01	20,98 (a)	13,75 (a)	0,0 (a)
Inokulationen am 23.07. u. 30.07.01	33,13 (a)	28,37 (b)	54,6 (ab)
Inokulationen am 23.07., 30.07. u. 08.08.01	33,00 (a)	51,25 (c)	71,4 (b)

Zur zeitlichen Eingrenzung des Infektionszeitpunktes der Triebe durch *Venturia inaequalis* im Verlauf der Vegetationsperiode wurden ab Mitte Mai im Abstand von 10 bis 14 Tagen Knippbäume der Sorte ‚Braeburn/M9‘ inokuliert, für 48 Stunden bei 100% relativer Luftfeuchte gehalten und zur Befallsentwicklung im Gewächshaus, vor Regen geschützt, aufgestellt. Auf diese Weise wurde eine unkontrollierte Weiterverbreitung des Apfelschorfs unterbunden. Die Befallsbewertung erfolgte an fünf markierten Referenzästen pro Baum. Die erfolgreiche Etablierung des Erregers *Venturia inaequalis* war an Trieben der Sorte ‚Braeburn‘ nicht möglich, obwohl Laub und Früchte dieser Sorte als sehr anfällig gelten. Weder im Jahr der Inokulation noch im Folgejahr konnten Befallssymptome des Apfelschorfs an Trieben oder Knospenschuppen an den Knippbäumen der Sorte ‚Braeburn‘ beobachtet werden, so dass dieser Versuch keine neuen Erkenntnisse zur Eingrenzung des Infektionszeitpunktes erbrachte.

Anhand dieses Versuches wurde aber die Sortenabhängigkeit der Entwicklung von Holzschorf deutlich. Befallssymptome an Trieben konnten trotz der Verwendung einer Population des Apfelschorfs, welche im Freiland Holzschorfsymptome hervorrief, nur an den Versuchssorten ‚Gloster/M9‘ und ‚Golden Delicious/M9‘ nicht aber an der Sorte ‚Braeburn/M9‘ beobachtet werden. Die zuletzt genannte Apfelsorte weist eine deutlich stärkere Behaarung der jungen Triebe auf als die beiden anderen Sorten (Abb. 11).



Abb. 11a



Abb. 11b



Abb. 11c

Abb. 11: Unterschiedliche Intensität der Trichombildung an jungen Trieben der Apfelsorten Braeburn (a), Golden Delicious (b) und Gloster (c)

Apfelschorf tritt am Trieb in verschiedenen Symptomausprägungen auf. Ältere Läsionen verursachen Symptome, die häufig als Grindschorf bezeichnet werden (Abb. 12a, 12b, 13a u. 13b). Junge Läsionen an jungen Trieben treten oft nur als dunkle Flecken bzw. Schattierungen in Erscheinung (Abb. 14a u. 14b). Vergleichbare Unterschiede wiederholen sich auch bei der Betrachtung der Befallsstellen unter dem Rasterelektronenmikroskop (Abb. 12c, 13c, 13d u. 14c). Bei aktiven, jungen Läsionen ist die gesamte Oberfläche durch Konidien und Reste der Kutikula bedeckt, während an älteren, kraterähnlichen Befallsstellen nur noch vereinzelte, im Randbereich liegende Konidien zu finden sind (Abb. 12, 13 u. 14).

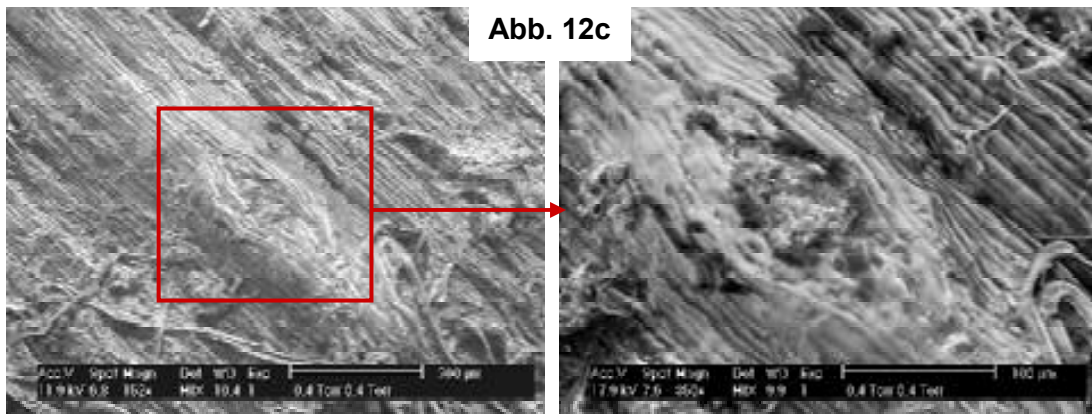


Abb. 12: Befallsstellen des Apfelschorfs an Trieben vor Winter (Probenahme: November 2001, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- a) Triebsschorf vor Winter (Grindschorf)
- b) Triebsschorf vor Winter (Grindschorf)
- c) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Grindschorfs vor Winter





Abb. 13a



Abb. 13b

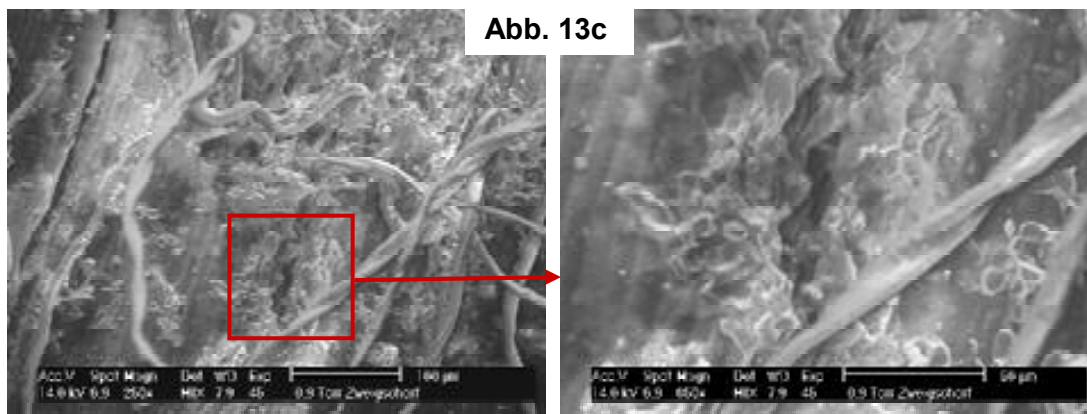


Abb. 13c

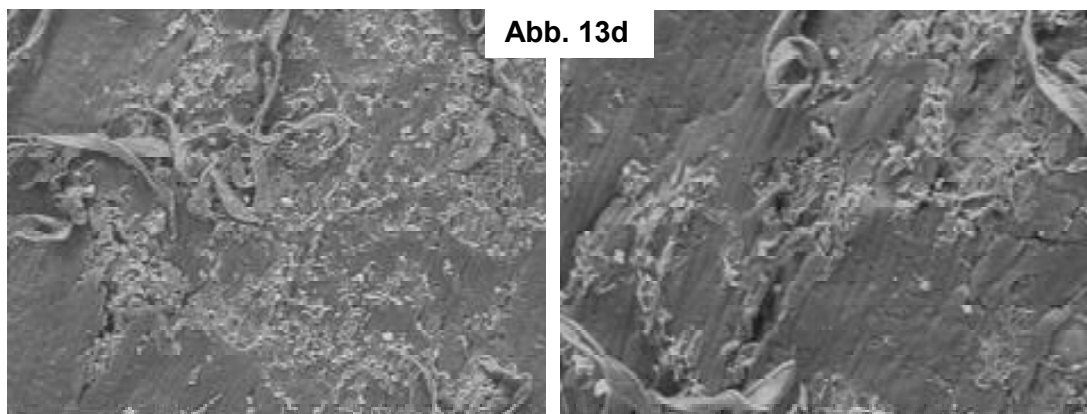


Abb. 13d

Abb. 13: Befallsstellen des Apfelschorfs an Trieben im Herbst im Frühjahr als Folge überwinternder Läsionen (Probenahme: März 2002, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- a) Überwinterte Schorfläsion am Trieb (Grindschorf) – nach Winter
- b) Überwinterte Schorfläsion am Trieb (Grindschorf) – nach Winter
- c) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Grindschorfs nach Winter
- d) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Grindschorfs nach Winter, Aufreißen der Rinde aufgrund sporulierender Befallsflächen

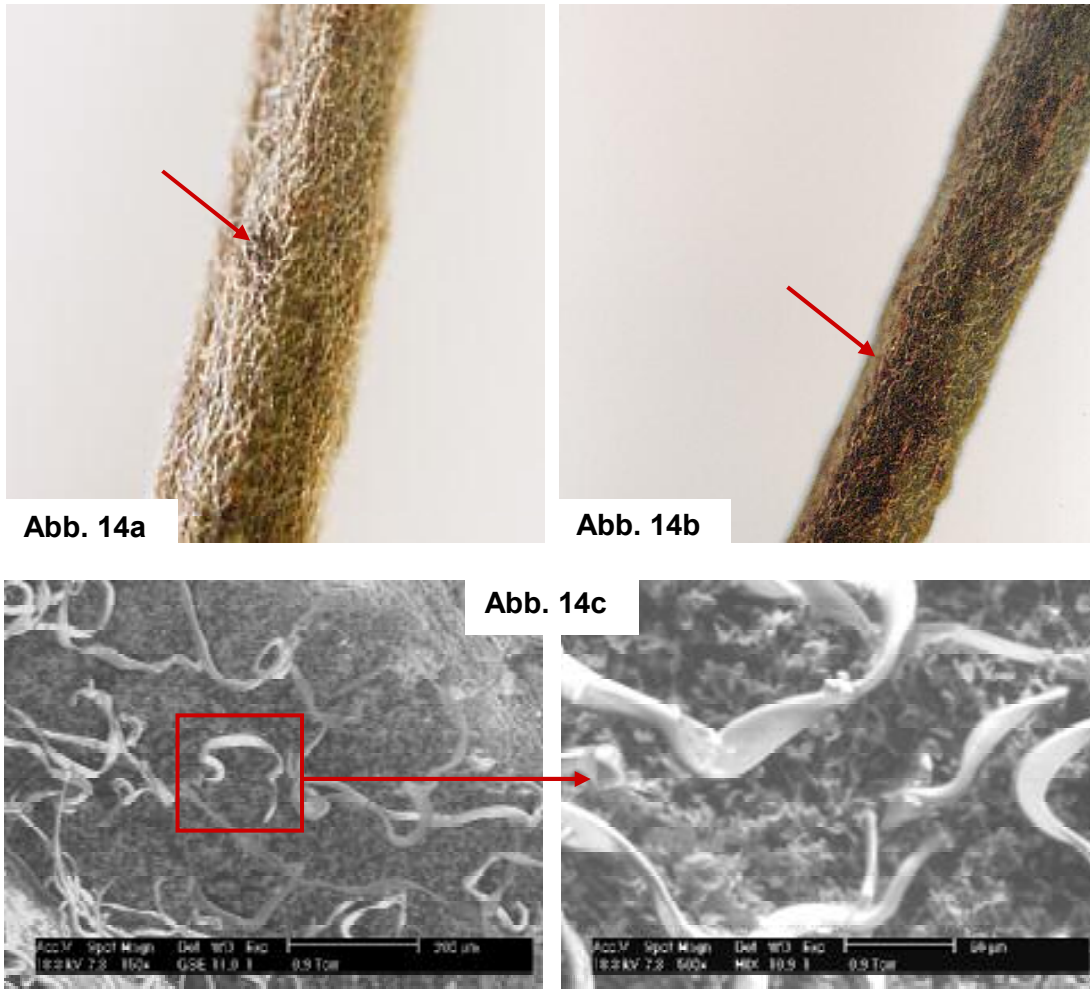


Abb. 14: Befallsstellen des Apfelschorfs an Trieben im Frühjahr als Folge sich entwickelnder Läsionen (Probenahme: März 2002, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- a) Schorfläsion am Trieb im Frühjahr („dunkler Fleck“)
- b) Schorfläsion am Trieb im Frühjahr („dunkle Schattierung“)
- c) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Triebsschorfs im Frühjahr

Histologische Untersuchungen zur Entwicklung des Apfelschorfs am Trieb unter Zuhilfenahme des Rasterelektronenmikroskops zeigten, dass von September bis November auf Trieboberflächen sowohl keimende Konidien als auch Konidienträger zu finden sind (Abb. 15a u. 15b). Demnach wird auch auf dem Zweig der gesamte asexuelle Entwicklungszyklus von der Keimung bis zur Konidienproduktion entsprechend der Entwicklung an Blättern durchlaufen. Deutlich ist auch das Aufreißen der Trieboberfläche während der beginnenden Sporulation zu erkennen (Abb. 13d u. 15c).

Überwinternde Strukturen von *Venturia inaequalis* am Holz können ebenfalls Ursache für die unter 3.3.4 bereits beschriebenen Symptome an jungen Blättern und Blüten sein (Abb. 10).

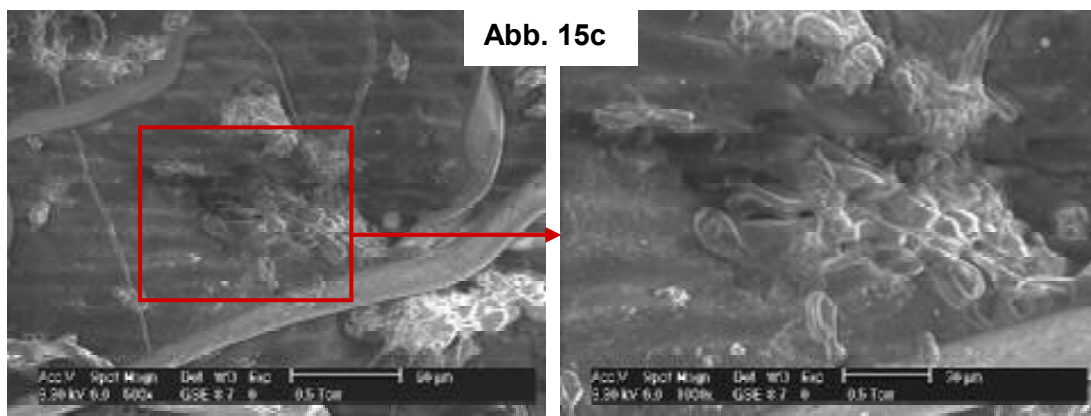
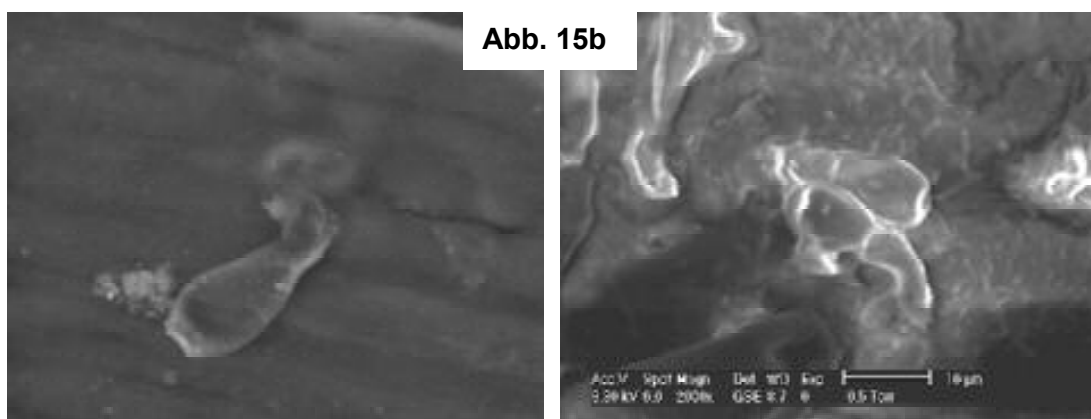
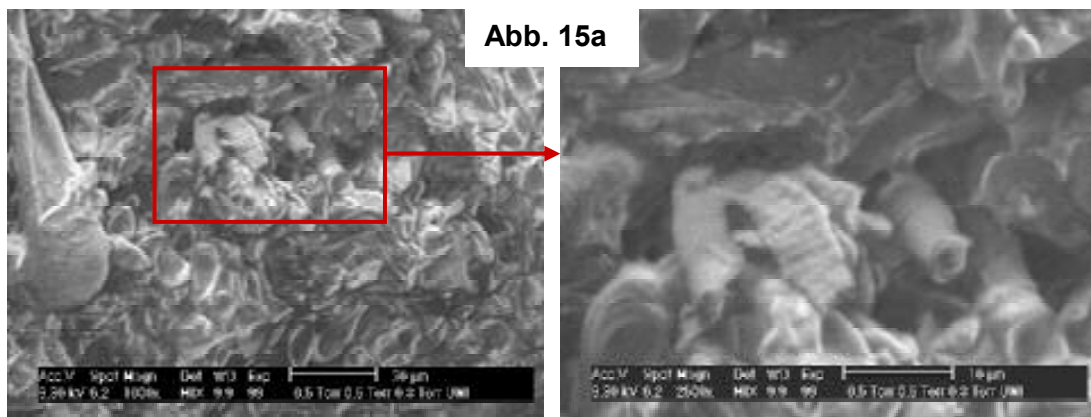


Abb. 15: Infektionsstadien des Apfelschorfs an Trieben im Herbst und im Frühjahr (Probenahme: November 2001, März 2002, Containerbäume der Sorte ‚Golden Delicious‘)

- a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Konidiophoren mit daneben liegenden Konidien im Herbst
- b) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen gekeimter Konidien im Herbst
- c) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen gekeimter Konidien sowie einer sporulierenden Befallsstelle im Frühjahr

## 4 DISKUSSION

An der Bildung des Primärinokulums zur Etablierung von *Venturia inaequalis* im Frühjahr müssen neben Ascosporen auch Konidien in Betracht gezogen werden. Dies wird sowohl aus den eigenen Untersuchungen im vorliegenden sowie im vorhergehenden Kapitel zur Bedeutung und der Kontrolle des Primärinokulums ersichtlich als auch in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben (COOK 1974, KENNEL 1987, MOOSHERR 1990, BECKER et al. 1992, STENSVAND et al. 1996). Zwischen den beiden Sporenformen konnten anhand der durchgeführten Laboruntersuchungen keine Unterschiede bezüglich der Keimrate und der Befallsentwicklung bei optimalen Bedingungen beobachtet werden. Die Beschreibungen von STENSVAND et al. (1997) bestätigen diese Ergebnisse, während andere Autoren Unterschiede zwischen Ascosporen und Konidien beobachteten. So konnten nach Ascosporenfektionen beispielsweise schnellere Befallsentwicklungen festgestellt werden, während für Konidieninfektionen bei niedrigen Temperaturen eine geringere Blattfeuchtedauer notwendig war (MILLER 1949, MILLS u. LAPLANTE 1951, ROOSJE 1955, ROOSJE 1963, MOORE 1964, SCHWABE 1980). TURNER und Mitarbeiter (1986) beobachteten keine Veränderungen der Keimrate, aber Konidien keimten im Vergleich zu Ascosporen bei Temperaturen zwischen 5°C und 20°C schneller aus.

Im Gegensatz zu den Ascosporen, deren Ausstoß nur bei Tageslicht sowie Regen erfolgt und bei Temperaturen unter 10°C deutlich reduziert wird, gibt es keine Hinweise, dass die Konidienproduktion oder deren Verteilung während nasser und kalter Perioden eingeschränkt ist (HIRST u. STEDMAN 1962, MACHARDY u. GADOURY 1986, GADOURY et al. 1994, STENSVAND et al. 1997). Lediglich die Geschwindigkeit der Sporulation wurde durch Temperaturen unter 6°C verringert (MILLER 1949, MACHARDY 1996). Ob Tau zur Initiation des Ascosporenausstoßes ausreicht, konnte noch nicht eindeutig geklärt werden (GADOURY et al. 1998, STENSVAND et al. 1998, ROSSI et al. 2001). Bei niedrigen Temperaturen im Frühjahr und fehlenden Niederschlägen würden diesen Studien zufolge nur wenige Ascosporen, aber unter Umständen zahlreiche Konidien zur Verfügung stehen.

Überwinternde Konidien müssen im Frühjahr nicht neu gebildet werden und heranreifen. Aus diesem Grund stehen sie bereits vor dem ersten Ascosporenflug zur Verfügung und können sich entwickelnde Blätter bereits bei Knospenaufbruch infizieren. Die Bildung von Pseudothecien und das Heranreifen von Ascosporen sind abhängig von Temperatursummen (MACHARDY

1996, KOSHLA u. THAKUR 1998). Überwinternde Konidien könnten demnach dann primär für die Etablierung des Apfelschorfs im Frühjahr verantwortlich gemacht werden, wenn die Infektionsperioden vor der Ascosporenreife beginnen (GLOYER 1937), und in trockenen Zeiten mit z.B. durch Taubildung nassen Nächten, wenn kein Ascosporenausstoß zu beobachten ist (BECKER et al. 1992).

Konidien können Trockenheit, Kälte und intensive Sonneneinstrahlung aufgrund der dickeren Zellwände und hoher Melaniningehalte sehr viel besser überstehen als Ascosporen (MacHardy et al. 2001, ROBINSON 2001). Werden demnach die Infektionsbedingungen unterbrochen, so ist die Wahrscheinlichkeit einer unbeschadeten Überdauerung ohne Verlust der Keimfähigkeit bei Konidien sehr viel höher als bei Ascosporen. Konidien müssten bei Wiedereintritt der Infektionsbedingungen dann nicht erst neugebildet werden. Diese Sporen stellen demnach eine mögliche Primärinokulumquelle dar, welche auch bei niedrigen Temperaturen und suboptimalen Witterungsbedingungen nicht unterschätzt und übersehen werden sollte.

Die dargestellten Studien unter kontrollierten Bedingungen zeigen, dass Konidien von *Venturia inaequalis* bei niedrigen Temperaturen (4°C) keimen, mehrmalige Temperaturschwankungen um 0°C mit nur geringen Einbußen ihrer Keimfähigkeit überstehen und Apfelblätter bei Temperaturen um 2°C (+/- 2°C) infizieren können. Die deutlichen Reduktionen der Keimfähigkeit bei Temperaturen knapp unterhalb des Gefrierpunktes im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und der Lagerung bei -14°C und -18°C können auf folgende Tatsache zurückgeführt werden: Aufgrund des Absinkens der Temperaturen auf 0°C kann ein Kälteschock auftreten, welcher Wasserentzug, die Konzentrierung von Elektrolyten sowie die Bildung von Eiskristallen hervorrufen kann. Als Folge einer langsamen Abkühlung, wie dies bei Lagerung der befallenen Blätter bei Temperaturen um -2°C (+/- 2°C) auftritt, werden Eiskristalle nur außerhalb der Zellen gebildet, wodurch ein Anstieg des externen osmotischen Druckes zu beobachten ist. Aus diesem Grund verliert die Zelle Wasser, schrumpft und stirbt ab (SÜBMUTH et al. 1999). Werden die befallenen Sämlingsblätter aber bei Temperaturen um -16°C eingefroren, so findet die Abkühlung zügig statt und die Eiskristallbildung wird unterbunden. Aus diesem Grund bleibt auch die Keimfähigkeit dieser Konidien erhalten. Diese Ergebnisse ergänzen und bestätigen die Veröffentlichungen von DORAN (1922), TURNER et al. (1986) und STENSVAND et al. (1996), welche Untersuchungen zur Keimung und Infektion von *Venturia inaequalis* bis minimal 3°C beschreiben. LOUW konnte 1948 nachweisen, dass die Keimung von Koni-

dien in Verbindung mit einer deutlichen Verlangsamung des Keimschlauchwachstums in geringem Umfang auch bei 0°C möglich ist. Eine Überwinterung außen anhaftender Konidien im Baum ist diesen in der Literatur beschriebenen Ergebnissen und den eigenen Untersuchungen zufolge unter den typischen regionalen Witterungsbedingungen im Rheinland durchaus möglich.

Als Voraussetzung hierfür muss ein ausreichend hoher Befall im Herbst gegeben sein oder ein später bzw. fehlender Triebabschluss die Entwicklung von Myzel an der Triebspitze fördern, damit ausreichend Inokulum zurückbleibt (MOOSHERR 1990, MACHARDY 1996). Die in der Literatur beschriebenen Studien zur Überwinterung von Konidien auf äußeren Oberflächen des Wirtes konnten diese Theorie nicht bestätigen bzw. widersprachen dieser Möglichkeit (EWERT 1910, LOUW 1948, LOUW 1951, JEFFREY 1953, BECKER u. BURR 1988, BECKER 1990, BECKER et al. 1992). Eine Reihe von Abwaschversuchen während der Wintermonate mit anschließenden Keimtests zeigte, dass von November bis Anfang Februar nur sehr wenige Konidien an Zweigen und Knospen zu finden waren. Diese ließen sich nur unter Zuhilfenahme von Tween 20 von der behaarten Trieb- und Knospenschuppenoberfläche lösen. Aufgrund der Zugabe des Tensids war eine zuverlässige Bestimmung der Keimfähigkeit unmöglich, da die zur Lösung der Konidien von Trichomen notwendige Konzentration von Tween 20 die Sporenkeimung deutlich unterdrücken kann. Ab Mitte Februar waren vermehrt Konidien an Zweigen mit und ohne Schorflesionen zu finden. Diese Beobachtung veranlasst zu der Annahme, dass die in diesem Zeitraum abgewaschenen Konidien neu gebildet wurden. Für das Rheinland sind demnach außen an Knospen und Trieben überwinternde Konidien trotz der milden Winter für die Etablierung des Erregers im Frühjahr unbedeutend. Vermutlich werden sie zum größten Teil durch starke Regenfälle abgespült.

Konidien konnten auch von makroskopisch nicht befallenen Zweigen abgewaschen werden. Es besteht die Möglichkeit, dass das von MOOSHERR (1990) beschriebene Phänomen des superfiziellen Schorfs an äußerlich unversehrten Trieben auftrat. Hierbei handelt es sich um oberflächliches Myzel, welches ohne Ausbildung makroskopisch sichtbarer Symptome überwintert. Da dieses Myzel auch lichtmikroskopisch nicht von anderen Erregern differenziert werden konnte, war ein endgültiger Nachweis nicht möglich, da keine Befallssymptome oder erhöhte Konidienproduktion beobachtet wurden.



Die Überwinterung von *Venturia inaequalis* in sich entwickelnden Blatt- und Blütenknospen des Apfels wird in der Literatur mehrfach beschrieben. So berichteten BAGENAL et al. (1925) das erste Mal über die Möglichkeit einer Überwinterung von Konidien im Inneren von Knospen und in Läsionen an Knospenschuppen. Es dauerte ungefähr 50 Jahre, bis dieses Thema erneut von KUDO et al. (1976) bearbeitet wurde, und erst in den neunziger Jahren befassten sich BECKER und Mitarbeiter (BECKER et al. 1992, BECKER 1990, BECKER u. BURR 1990b) intensiv mit der Möglichkeit einer Überwinterung von Konidien in und an Knospen sowie deren Bedeutung als zusätzliche Primärinokulumquelle. In den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen zu diesem Thema wurde durch den Verzicht auf ein Anschneiden der Knospen vor der Einbettung in Kunststoff ein möglicher Eintrag außen anhaftender Sporen des Apfelschorfs während der Präparation ausgeschlossen. So konnten die Beobachtungen von BECKER et al. (1992) ohne die Gefahr einer Verunreinigung des Knospeninneren unter Verwendung lichtmikroskopischer Methoden auch für den rheinischen Obstanbau grundsätzlich bestätigt werden. Unseren Beobachtungen zufolge treten Konidien im Meristembereich von Apfelknospen in der untersuchten Region aber eher selten auf. Im Gegensatz zu den Veröffentlichungen zur Situation in New York, wo in Knospen überwinternde Konidien als zusätzliche Primärinokulumquelle Bedeutung haben können (BECKER et al. 1992, BECKER 1990, BECKER u. BURR 1990 b), wird diese Form der Überwinterung, aufgrund der Seltenheit ihres Auftretens, für das Rheinland als eher unbedeutend bewertet.

Läsionen an äußeren Knospenschuppen und Triebspitzen bzw. dort ruhende Konidien waren dagegen häufiger zu beobachten. Die Befallssymptome, wie sie in Abb. 10 dargestellt sind, wurden durch diese Konidien hervorgerufen, da sie sich zur Zeit des Knospenaufbruchs in direkter Nähe zu den anfälligen jungen Stadien von Blättern und Blüten befanden. Besonders der Befall der Kelchblätter kann im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode hohe Fruchtbefallsintensitäten hervorrufen, da Kelchblätter an der Frucht verbleiben und nicht wie z. B. Knospenschuppen oder stark befallene Blätter abfallen (KENNEL 1987). MCKAY beschreibt in mehreren Veröffentlichungen die Überwinterung von Apfelschorf in Läsionen an Knospenschuppen als bedeutend für die Etablierung des Erregers im Frühjahr (MCKAY 1938, MCKAY 1939, MCKAY 1942). In einigen Regionen hat diese Form der Überwinterung größere Bedeutung für die Bildung des Primärinokulums (KEITT u. JONES 1926, GLOYER 1937, BECKER et al. 1992). In der Bodensee-Region stellte sich Knospenschorf als häufig zu beobachtende, aber meist unbemerkte Primäri-

nokulumquelle heraus (KENNEL u. MOOSHERR 1983, KENNEL 1987, MOOSHERR 1990). Für das Rheinland sollte diese Form der Überwinterung als mögliche Primärinokulumquelle in Betracht gezogen, deren Auftreten durch entsprechendes Bonitieren und Abwaschen überprüft und gegebenenfalls in die Prognosemodelle miteinbezogen werden müsste. Da Konidien aufgrund ihrer Größe und ihres Gewichtes nur geringfügig mit dem Wind transportiert werden und ihr Auftreten an den befallenen Baum sowie seine direkten Nachbarn gebunden ist (MACHARDY 1996, AYLOR u. SANOGO 1997), stellt sich die Erfassung dieser Überwinterungsform als sehr zeit- und arbeitsaufwendig dar, da für eine zuverlässige Aussage viele Probenahmen innerhalb einer Anlage nötig sind.

Im Verlauf der dargestellten Studien fiel ein weiterer Überwinterungsort asexueller Formen von *Venturia inaequalis* auf. Im Rheinland konnten Infektionen am Trieb und die Überwinterung der entstehenden Läsionen beobachtet werden. Sowohl alte Läsionen, welche in der Vegetationsperiode des Vorjahres als Folge hoher Blattbefallsintensitäten entstanden waren, als auch während der Wintermonate neu gebildete Befallsstellen traten im Frühjahr in der Versuchsanlage auf. Diese Beobachtungen werden bestätigt durch die Angaben von COOK (1974), welcher die Entwicklung neuer Läsionen neben den älteren im Winter beschreibt. Die Bedeutung der Überwinterung von *Venturia inaequalis* als Holzschorf ist deutlich größer im Vergleich zur Überwinterung äußerlich anhaftender Konidien und der Nachweis durch die Ausbildung makroskopisch sichtbarer Symptome am Trieb einfacher. Aus diesem Grund befassten sich bereits sehr früh verschiedene Arbeitsgruppen mit dieser Befallsform des Apfelschorfs. HESS u. STÖSSER zeigten 1986 anhand histologischer Untersuchungen, dass alle asexuellen Entwicklungsstadien von *Venturia inaequalis* auch auf bzw. im Trieb durchlaufen werden. Hierzu fertigten sie Semidünnschnitte der befallenen Triebstücke an und werteten diese lichtmikroskopisch aus.

Mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie konnten in der vorliegenden Arbeit die Befallsstadien des Triebschorfs von gekeimten Konidien über sporulierende Befallsstellen mit Konidiophoren bis hin zu alternden Läsionen dokumentiert werden. Die Aufnahmen keimender Konidien mit Appressorien zeigten, dass dieses Stadium des Infektionszykluses von Konidien auch auf jungen Trieboberflächen zu beobachten ist. Bisher wurden mit Ausnahme der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von BECKER et al. (1992), welche Läsionen an Knospenschuppen zeigen, keine Bilder dieser Art zur Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* am Trieb veröffentlicht.



Nicht jedes Isolat kann das Gewebe an Trieben infizieren und nicht jede Apfelsorte zeigt sich anfällig gegenüber ‚Holzschorf‘ (COOK 1974, JEGER et al. 1982). Die stark behaarten Triebe der schorfanfälligen Sorte ‚Braeburn‘ beispielsweise wurden trotz der Inokulation mit einer holzbefallenden Population von *Venturia inaequalis* nicht infiziert. Da jedoch die Entstehung von Blattbefall beobachtet werden konnte, ist eine Resistenz von ‚Braeburn‘ gegenüber der verwendeten Population des Apfelschorfs ausgeschlossen. Als Grund für den fehlenden Triebbefall könnte die starke Behaarung der Triebe angenommen werden, da kein direkter Kontakt der Sporensuspension mit der Zweigoberfläche möglich war. Im Herbst wurden im Freiland an der Sorte ‚Gloster‘ gekeimte Konidien an Blatthaaren von Knospenschuppen beobachtet. Im Gegensatz zu den Berichten von MOOSHERR (1990) wurden aber keine weiteren Infektionsstadien innerhalb der Trichome gefunden, so dass die Beobachtung vorgenannter Autoren nicht bestätigt werden konnte. Eine dichte Behaarung der pflanzlichen Oberfläche kann den durchgeführten Untersuchungen zufolge die Infektion von Triebgewebe durch *Venturia inaequalis* unterbinden. Als weitere Bestätigung für die Sortenabhängigkeit der Entwicklung von ‚Holzschorf‘ wurden im Gegensatz zu der zuvor eingesetzten Sorte ‚Braeburn‘ nach Verwendung der gleichen Inokulumsuspension an der Sorte ‚Golden Delicious‘ als Folge hoher Blattbefallsintensitäten zahlreiche Triebläsionen beobachtet.

Zur Infektion des Holzes durch den Erreger des Apfelschorfs sind hohe Blattbefallsintensitäten nötig, verbunden mit einer ausreichenden Neutriebbildung zur Zeit der Inokulation, da nur junge Triebspitzen infiziert werden (COOK 1974). Diese Beobachtung wurde ebenfalls durch die Versuche an Containerbäumen der Sorte ‚Golden Delicious‘ bestätigt.

Die Abhängigkeit der Bedeutung von Überwinterungsformen der asexuellen Strukturen von *Venturia inaequalis* von den regionalen Gegebenheiten wurde durch die Ergebnisse der dargestellten Studien erneut bestätigt. Während an den im Freiland, windgeschützt überwinterten Containerbäumen der Sorte ‚Golden Delicious‘ aufgrund hoher Schorfbefallsintensitäten im Vorjahr zahlreiche Läsionen an Knospenschuppen und Trieben auftraten, konnten im Freiland an der Sorte ‚Gloster‘ zwar Befallsstellen am Holz aber nur selten an Knospenschuppen beobachtet werden. Auch war die Sporulation im Vergleich zu der intensiven Konidienproduktion in Läsionen der Containerbäume nur gering. Louw (1951) beschreibt keine Überwinterung von Myzel oder Konidien in der Winter-Regen-Region des Cape (Süd Afrika), während für Japan, New York, England, Irland und Deutschland hohe Überwinterungsraten

an Knospen und Holz festgestellt wurden (MCKAY 1938, MCKAY 1939, MCKAY 1942, KUDO et al. 1976, KENNEL u. MOOSHERR 1983, BECKER et al. 1992). BECKER et al. (1992) schließen die Überwinterung in Form von Trieb-schorf für die Region um New York aus, während MARSH und WALKER (1932), GOOSSENS (1934), Cook (1974), HILL (1975), STENSVAND et al. (1996) in England und Norwegen Trieb-schorf eine große Bedeutung bei der erfolg-reichen Etablierung des Erregers *Venturia inaequalis* im zeitigen Frühjahr zusprechen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass diese regio-nalen Unterschiede auch innerhalb enger räumlicher Grenzen (Versuchssta-tion in Meckenheim und Institutsgelände in Bonn) zu finden und auf mildere Witterungsbedingungen während der Wintermonate sowie auf Sortenunter-schiede zurückzuführen sind.

Im Gegensatz zu Ascosporen, die durch Wind bis zu 600 m weit transportiert werden können, ist die Verbreitung der Konidien grundsätzlich auf den befallenen Baum und dessen direkte Nachbarn begrenzt (MACHARDY 1996). Aus diesem Grund bleibt die Weiterverbreitung bei einer Primärinfektion, welche hauptsächlich auf Konidien zurückzuführen ist, zu Beginn räumlich meist be-grenzt (HIRST u. STEDMAN 1961, SUTTON et al. 1976, MACHARDY 1996). Eine gezielte, zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahme, welche vor Beginn des As-cosporenausstoßes durchgeführt wird, erscheint für eine zuverlässige Kon-trolle des Erregers im Rheinland deshalb nicht notwendig. Überwinterndes Stroma führt im Rheinland nur unter extremen Bedingungen zu einer überraschenden, nicht mehr kontrollierbaren Befallsentwicklung des Apfelschorfs. Die Bedeutung von Ascosporen und insbesondere der diese Sporen ergän-zenden asexuellen Überwinterungsformen von *Venturia inaequalis* als Pri-märinokulum für die Befallsentwicklung bzw. deren Intensität während der Vegetationsperiode hat sich als deutlich standortabhängig herausgestellt. So sprechen MACHARDY und Mitarbeiter (1993) Konidien und Myzel eine signifi-kante Bedeutung an der Etablierung des Erregers im Frühjahr ab. KENNEL und verschiedene andere Autoren beschreiben dagegen intensive Befalls-entwicklungen trotz der deutlichen Reduktion des Falllaubs und des Fehlens von Ascosporen, ausschließlich aufgrund von überwinterndem Myzel an Knospenschuppen und Trieben (MCKAY 1942, KENNEL u. MOOSHERR 1983, BECKER et al. 1992). Als Erklärung für diese Differenz der Aussagen muß der im Vergleich zur Bodenseeregion deutlich geringere Befallsdruck des Apfel-schorfs im Rheinland in Betracht gezogen werden. Die präventive Applikation eines geeigneten Fungizids bei erstem Austrieb unabhängig vom Ascospo-renpotenzial, wie es für die Bodenseeregion bei hohem Herbstbefall empfoh-len wird, erscheint hier nicht angebracht.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen wurden Auftreten und Bedeutung überwinternder Konidien für den rheinischen Erwerbsobstanbau erfasst, um so die Aussage der Schorf-Warnsysteme zu ergänzen. Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass standortbedingt Konidien Ascosporen bei der Bildung des Primärinokulums ergänzen können. Diese Konidien stammen hauptsächlich aus überwinternden Läsionen befallener Triebe und Knospenschuppen. Möglicherweise ist auch superfizieller Schorf beteiligt. Zur Eingrenzung der Bedeutung von Sommersporen für die Befallsentwicklung im zeitigen Frühjahr wurde die Infektionseffizienz von Ascosporen und Konidien verglichen. Unter Laborbedingungen fanden Versuche zum Einfluss niedriger Temperaturen auf Keimung und Infektion von *Venturia inaequalis*-Konidien zur Prüfung der Überlebensfähigkeit auf äußeren Pflanzenoberflächen während des Winters statt. Die Überwinterung von außen anhaftenden Konidien im Frühjahr ist diesen Ergebnissen zufolge theoretisch möglich, aber praktisch von untergeordneter Bedeutung.

Durch lichtmikroskopische Untersuchungen ganzer, in Kunstharz eingebetteter Knospen konnten im Meristembereich sich entwickelnder Apfelknospen eine geringe Anzahl überwinternder Konidien festgestellt werden. Auf Knospenschuppen und Trieben von Apfelbäumen wurden dagegen häufiger Konidien und Befallsstellen des Apfelschorfs beobachtet.

Unter Verwendung der Rasterelektronenmikroskopie konnten verschiedene Entwicklungsstadien des Triebeschorfes in neuer Form sichtbar gemacht werden. Keimende Konidien zeigten, dass Keimschlauch- und Appressorienbildung von Konidien auch auf jungem Holzgewebe zu beobachten sind. Die Sorten-, Standort- und Populationsabhängigkeit der Ausbildung von Apfelschorfsymptomen an Trieben wurde für die Sorten ‚Braeburn‘, ‚Gloster‘ und ‚Golden Delicious‘ für das Rheinland bestätigt.

Überwinterndes Stroma und daraus stammende Konidien führen im Rheinland aber nur unter extremen Bedingungen zu überraschenden, nicht mehr kontrollierbaren Befallsentwicklungen des Apfelschorfs. Die generelle, präventive Applikation eines geeigneten Fungizids bei erstem Austrieb unabhängig vom Ascosporenpotenzial erscheint nicht notwendig.

## **D *Venturia inaequalis* als biotischer Einflussfaktor der Knospenentwicklung beim Apfel**

### **1 EINLEITUNG**

Beim Apfel folgt auf ein Jahr mit übermäßig vielen kleinen Früchten ein Leerdjahr mit unzureichendem Fruchtbehang (BERTSCHINGER u. STADLER 1997). Dieses als Alternanz bezeichnete Phänomen der jährlichen Ertragsschwankungen ist zurückzuführen auf die fehlende zeitliche Trennung der verschiedenen Wachstums- und Entwicklungsprozesse im Baum zur Zeit der Blütenknospenentwicklung beim Kernobst (WINTER et al. 1992, Friedrich 1993). Zahlreiche biotische und abiotische Faktoren beeinflussen die Entwicklung von Alternanz. Obwohl gesunde und assimilationsfähige Blätter bekanntlich zur Vermeidung von Alternanz beitragen, wurde dem Einfluss von Pilzkrankungen als biotischem Einflussfaktor bisher kaum Bedeutung beigemessen. Befall mit *Venturia inaequalis*, dem Erreger des Apfelschorfs reduziert sowohl die Photosyntheseleistung der befallenen Blätter als auch die Assimilationsfläche befallener Bäume (SPOTTS u. FERREE 1979). Dadurch kann die Konkurrenz zwischen Fruchtbehang, Triebwachstum und Blütenknospendifferenzierung verstärkt werden (HENNERTY u. FORSHEY 1971, SCHUMACHER et al. 1987, PROCTOR u. PALMER 1991). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden vereinzelte Studien zur negativen Wirkung von *Venturia inaequalis*, dem Erreger des Apfelschorfs, auf Fruchtansatz und verfrühten Fruchtfall veröffentlicht (BAILEY 1895, GOSSARD 1909, SELBY 1910). Aber nur BAILEY (1895) erwähnte Reduktionen der Blütenknospenanzahl als Folge hohen Schorfbefalls im Vorjahr. Apfelschorf könnte als biotischer Einflussfaktor die Blütenknospenentwicklung sowohl direkt durch Knospenbefall als auch indirekt durch hohen Blattschorfbefall verändern.

Der Einfluss von Blattschorf auf verschiedene Fruchtqualitätsparameter, wie z.B. Fruchtgröße, Mineralstoffgehalte, Ausfärbung und Zuckergehalt, wurde anhand verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen simuliert, um die Beeinflussung durch Blattschorf ohne das gleichzeitige Auftreten von Fruchtschorf zu beobachten. Durch die unterschiedlichen Ausdünnungsverfahren konnte der Einfluss von Blütenreduktionen ohne Verringerung der Blattflächen, von leichten Blattschäden und intensiver Blütenausdünnung sowie intensiver Blatt- und Blütenreduktionen auf die Blütenknospenentwicklung und die Fruchtqualität untersucht werden. Zusätzlich wurde der Einfluss von Blattdüngern auf die Blütenknospenentwicklung untersucht.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Pflanzenmaterial und Versuchsstandorte

Die Freilanduntersuchungen zum Einfluss von Blattschorf auf die Knospenentwicklung fanden an Bäumen der Sorte ‚Gloster/M9‘ (Pflanzjahr 1980) in der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Institutes für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn statt (10 Bäume/Variante). Für die begleitenden Ausdünnungs- und Blattdüngungsversuche wurden Bäume der Sorte ‚Braeburn/M9‘ der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf verwendet (Pflanzjahr 1995; 80 Bäume pro Variante). Pflege-, Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten, so weit nicht anders vermerkt, nach betriebsüblicher Praxis entsprechend den Richtlinien der integrierten Produktion.

### 2.2 Erfassung des Blattschorfs

Der Blattbefall der Versuchsbäume wurde durch Bonitur der Befallshäufigkeit erfasst. Hierzu wurde der Anteil mit Apfelschorf befallener Blätter an der Gesamtmenge vorhandener Blätter pro Baum geschätzt. Die Bonitur erfolgte getrennt nach Baumseiten, so dass jeweils zwei Werte pro Baum erfasst wurden. Folgende Schätzklassen fanden Verwendung: 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 und 100%.

### 2.3 Behandlungen

Folgende **Ausdünnungsmaßnahmen** wurden durchgeführt:

<i><b>Variante</b></i>	<i><b>Behandlung</b></i>	<i><b>Behandlungstermin/ Blühstadium</b></i>
Unbehandelte Kontrolle		-
Handausdünnung	Fruchtausdünnung auf 5-7 Früchte pro laufendem Meter Fruchttast	10.07.2000
maschinelle Ausdünnung	einseitiger Einsatz des Fadengerätes	27.04.2000 / 75% geöffnete Blüten
AMIDTHIN (Naphthylacetamid) + ETHREL (Ethephon)	800 g/ha + 300 ml/ha in 1000 l Wasser/ha	05.05.2000 / 90% abgeblüht
ATS (Ammoniumthiosulfat)	10 kg/ha in 800 l Wasser/ha	28.04.2000 / Vollblüte

Zur **Blattdüngung** wurden folgende Behandlungen durchgeführt:

<b>Variante</b>	<b>Applikationsmenge und Zusammensetzung</b>	<b>Behandlungstermin</b>
Unbehandelte Kontrolle	-	-
HARNSTOFF (Stickstoffdünger)	6 kg/ha in 350 l Wasser/ha, 46% Stickstoff	01.06.2000
		14.06.2000
		26.06.2000
		10.07.2000
WUXAL MULTI KMg (Volldünger)	2 l/ha in 350 l Wasser/ha, 20% Stickstoff, 0% Phosphor, 15% Kalium, 4% Magnesium	siehe HARNSTOFF

Die beiden chemischen Ausdünnungspräparate sowie die beiden Blattdünger wurden unter Zuhilfenahme einer Pflanzenschutzspritze mit Axialgebläse appliziert.

## 2.4 Mineralstoffanalysen von Blättern und Früchten

Im September 2000 wurden Blattproben (5. Blatt unterhalb der Langtriebspitze) und/oder Fruchtproben entnommen, gewaschen und anschließend gefriergetrocknet. Zur Bestimmung der Kalium-, Magnesium- und Calciumgehalte wurden 0,3 g der gemahlten Proben mit HNO<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aufgeschlossen und anschließend durch Atom-Absorptions-Spektrometrie analysiert (CHEN et al. 1997). Die Bestimmung von Stickstoff- und Kohlenstoffgehalten der Blattdrockenmassen erfolgte durch Verbrennen der eingewogenen Proben und anschließende Bestimmung im Elementaranalysator der Firma SKALAR (Erkelenz).

Durch Verrechnung der Kalium-, Magnesium- und Calciumgehalte der Fruchttrockenmasse wurde der Stippequotient, welcher die Gefahr des Stippebefalls im Lager angibt, bestimmt (VAN DER BOON 1980):

$$\text{Stippequotient} = \frac{(\text{Kaliumgehalt} + \text{Magnesiumgehalt})}{\text{Calciumgehalt}}$$

## 2.5 Erfassung der Fruchtqualität

**Vor der Ernte** erfolgte die Bestimmung folgender Fruchtqualitätsparameter und die Berechnung des 'Reifeindex nach Streif' (KELLERHALS et al. 1997).

<i>Fruchtqualitätsparameter</i>	<i>Bestimmungsmethode</i>
Zuckergehalt	Refraktometer, Grenzwert zur Ernte ca. 12% (WINTER et al. 1992)
Säuregehalt	Titration
Fruchtfleischfestigkeit	Handpenetrometer, opt. Wert vor Ernte: 6-9 kg/cm <sup>2</sup> (STOLL 1997)
Jod/Stärke - Test	Bonitur des Stärkeabbaus anhand einer 10-stufigen Skala (KELLERHALS et al. 1997)
Ausfärbung	LAB-Wert des Farbmessgeräts ,Chromameter Reflectance II' der Fa. MINOLTA

**Nach der Ernte** wurde der Einfluss der Ausdünnungsmaßnahmen auf die Größenverteilung der Früchte mit Hilfe der Qualitätssortieranlage, Typ MSE 2000 der Fa. GREEFA (Geldermalsen, Niederlande), geprüft. Diese Anlage ermöglicht mittels einer CCD-Kamera die Sortierung von Früchten nach Größe und Farbe auch in kleinen Chargen.

## 2.6 Knospenuntersuchungen

### 2.6.1 Lichtmikroskopie und Boniturschemata

Im November 2000 sowie im Februar 2001 wurden 160 bzw. 240 Knospen des zweijährigen Holzes pro Variante entnommen und mit Hilfe eines Stereomikroskopes (LEICA WILD M8 der Fa. LEICA, Wetzlar) bei 40-50facher Vergrößerung untersucht. Folgende Einteilung wurde zur Vorhersage der Blühintensität im Folgejahr verwendet (DOLEGA 1996):

0-30%	Blütenknospen	=>	unzureichende Blüte
31-60%	Blütenknospen	=>	mäßige Blüte
61-90%	Blütenknospen	=>	gute Blüte
> 90%	Blütenknospen	=>	übermäßige Blüte.

Neben dem durchschnittlichen Anteil Blütenknospen pro Variante wurde die durchschnittliche Anzahl der Lateralknospenanlagen pro Blütenknospe als

Qualitätsparameter erfasst (DOLEGA et al. 1997, DOLEGA 1996, STOCKERT u. STÖSSER 1996, STREITBERG 1980).

### **2.6.2 Rasterelektronenmikroskopie**

Zur Darstellung des Unterschiedes zwischen Blatt- und Blütenknospen des Apfels zum Zeitpunkt der Bonituren wurden mit Hilfe des XL 30 ESEM der Fa. FEI/PHILIPS (Kassel) rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen angefertigt. Aufgrund der Technik des Gerätes war keine vorherige Fixierung und/oder Beschichtung der Präparate notwendig. Die Photographien entstanden im 'Low-Vacuum'-Modus bei max. 1 Torr und 4°C unter Verwendung des ‚Gaseous Secondary Electrons‘ (GSE)-Detektors.

### **2.7 Blütenbonituren**

Zur Bonitur der Blühintensität der Versuchsbäume am 09.05.2001 wurde folgende, praxisübliche Skala verwendet: Boniturklasse 1 = 0 % Blütenbesatz des Baumes bis Boniturklasse 9 = 100% (Weißblüte).

### **2.8 Erfassung des Fruchtansatzes und des Ertrages**

Der Fruchtansatz wurde durch Zählen der Früchte pro Baum im Juni 2000 sowie im Juni 2001 ermittelt. Die Erfassung des Baumertrages erfolgte unter Verwendung der auf der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Institutes für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn üblichen Schätzmethode in Kilogramm pro Baum. Durch entsprechende Verrechnung der einzelnen Baumerträge wurde der durchschnittliche Baumertrag pro Variante ermittelt.

### **2.9 Statistische Auswertung**

Bei Vorliegen von Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden die Versuchsdaten einer Varianzanalyse unterzogen (KÖHLER et al. 1994). Die Signifikanzen zwischen den behandelten und nicht behandelten Varianten eines Versuches wurden mit Hilfe multipler Mittelwertsvergleiche (KÖHLER et al. 1994) ermittelt. Die Durchführung aller Tests erfolgte unter Zuhilfenahme der Statistiksoftware 'STATGRAPHICS', Rockville, Maryland, USA.



### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Blatt- und Blütenknospen des Apfels am Ende und zu Beginn der Vegetationsperiode

Die folgenden vier Abbildungen zeigen die typischen Entwicklungsstadien der untersuchten Blüten- und Blattknospen des Apfels im Boniturzeitraum vor bzw. nach dem Winter. Nach drei Monaten haben die Blüten- und Blattanlagen deutlich an Größe zugenommen. Die Kronblätter der Blütenanlagen überlappen sich bereits, und die Blattknospen enthalten mehr Blattanlagen (Abb. 1 u. 2).

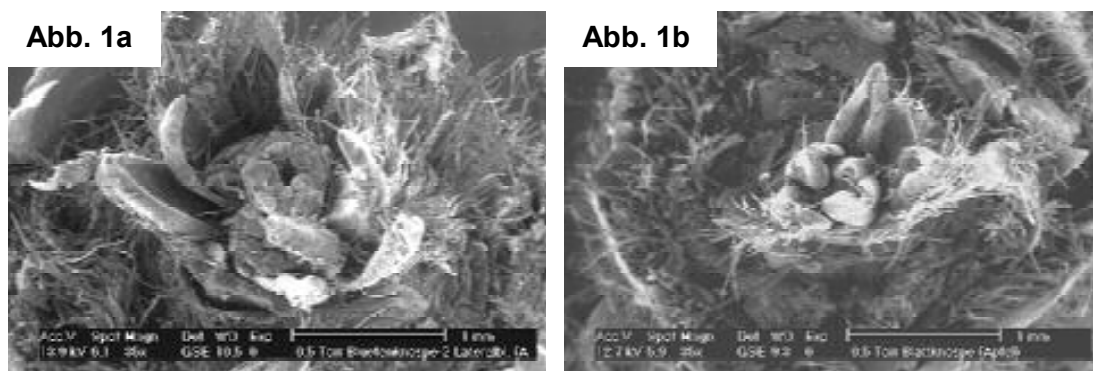


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer a) Blüten- bzw. b) Blattknospe Anfang Dezember, d.h. vor Winter (Sorte 'Gloster/M9', 'Low-Vacuum'-Modus, 35-fache Vergrößerung, max. 1 Torr, ca. 4°C)

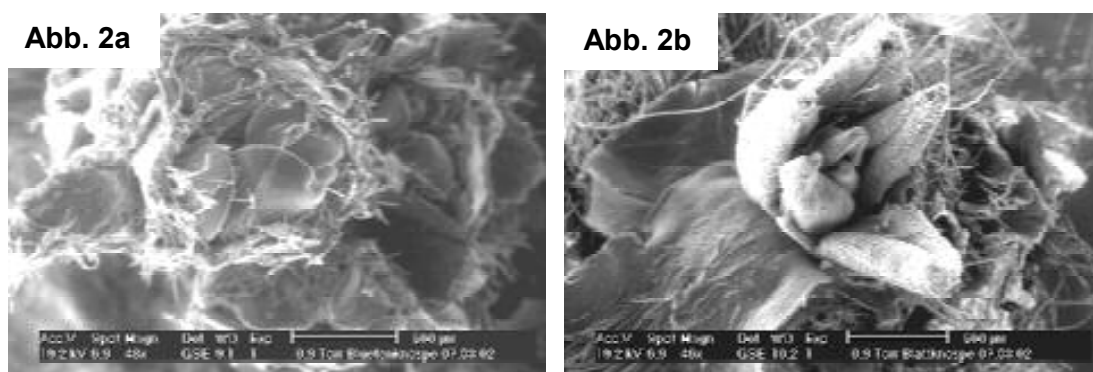


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer a) Blüten- bzw. b) Blattknospe Ende Februar, d.h. nach Winter (Sorte 'Gloster/M9', 'Low-Vacuum'-Modus, 48- bzw. 46-fache Vergrößerung, max. 1 Torr, ca. 4°C)

### 3.2 Einfluss von Blattschorf auf die Blütenknospenentwicklung

In beiden Versuchsjahren wurden deutliche Unterschiede der Blattbefallshäufigkeit von *Venturia inaequalis* zwischen unbehandelten und mit Fungiziden nach betriebsüblicher Praxis behandelten, schorffreien Bäumen beobachtet. Im Juli des zweiten Versuchsjahres war der Anteil befallener Blätter pro Baum gegenüber dem ersten Jahr 2000 allerdings um 20 % niedriger (Abb. 3).

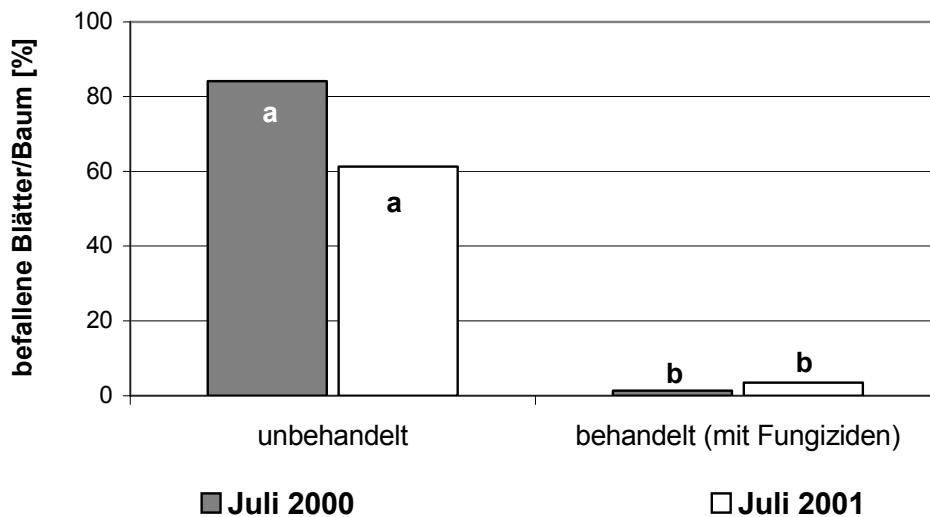


Abb. 3: Befallshäufigkeit des Apfelschorfs an Versuchsbäumen zur Untersuchung des Einflusses von Blattschorf auf den Anteil Blütenknospen am mehrjährigen Holz (Mitte Juli 2000 und 2001, Standort: Klein-Altendorf, Sorte ‚Gloster/M9‘, Statistik getrennt nach Jahren, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Unbehandelte, stark befallene Bäume bildeten im ersten Versuchsjahr einen signifikant geringeren Anteil Blütenknospen aus als mit Fungiziden behandelte Bäume. Der Besatz mit Blütenknospen wurde im Herbst 2000 von 98% auf 50% reduziert (Tab. 1, Abb. 3).

Tab. 1 Einfluss von Blattschorf auf den Anteil Blütenknospen am mehrjährigen Holz (Standort: Klein-Altendorf, Sorte ‚Gloster/M9‘, Dezember 2000, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

Variante	Blütenknospen [%]	Blattknospen [%]
unbehandelte Bäume	51,6 (a)	48,4 (a)
behandelte Bäume (mit Fungiziden)	98,4 (b)	1,6 (b)

Im Herbst des Folgejahres wurden erneut Knospenuntersuchungen an unbehandelten und behandelten Bäumen durchgeführt. Hierbei konnten keine Unterschiede des Anteils sich entwickelnder Blütenknospen am mehrjährigen Holz zwischen unbehandelten und behandelten Bäumen festgestellt werden. Die leichte, statistisch nicht absicherbare Reduktion der Anzahl Blütenknospen bei den behandelten Bäumen wurde während des Winters annähernd ausgeglichen (Tab. 2 und 3).

Tab. 2: Einfluss von Blattschorf auf den Anteil Blütenknospen am mehrjährigen Holz (Standort: Klein-Altendorf, Sorte ‚Gloster/M9‘, Dezember 2001, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

<b>Variante</b>	<b>Blütenknospen [%]</b>	<b>Blattknospen [%]</b>
unbehandelte Bäume	95,4 (a)	4,6 (a)
behandelte Bäume (mit Fungiziden)	75,9 (a)	24,1 (a)

Tab. 3: Einfluss von Blattschorf auf den Anteil Blütenknospen am mehrjährigen Holz (Standort: Klein-Altendorf, Sorte ‚Gloster/M9‘, März 2002, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

<b>Variante</b>	<b>Blütenknospen [%]</b>	<b>Blattknospen [%]</b>
unbehandelte Bäume	95,9 (a)	4,1 (a)
behandelte Bäume (mit Fungiziden)	84,5 (a)	15,5 (a)

### 3.3 Auswirkungen verschiedener Anbaumaßnahmen auf die Blütenknospenqualität

#### 3.3.1 Ausdünnung von Blüten und Früchten

##### Einfluss der Ausdünnungsmaßnahme auf die Assimilationsfläche

Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle wiesen die Blüten chemisch ausgedünnter Bäume deutlich weniger Kronblätter auf (Abb. 4a u. 4b). Bei den einseitig maschinell ausgedünnten Bäumen wurden nicht alle Blüten der behandelten Seite entfernt. Nahe dem Stamm blieben einige Blütenstände erhalten (Abb. 4c). Durch das Fadengerät zur maschinellen Ausdünnung wurden neben Blütenständen auch Blätter und Kurztriebe abgeschlagen (Abb. 4d).

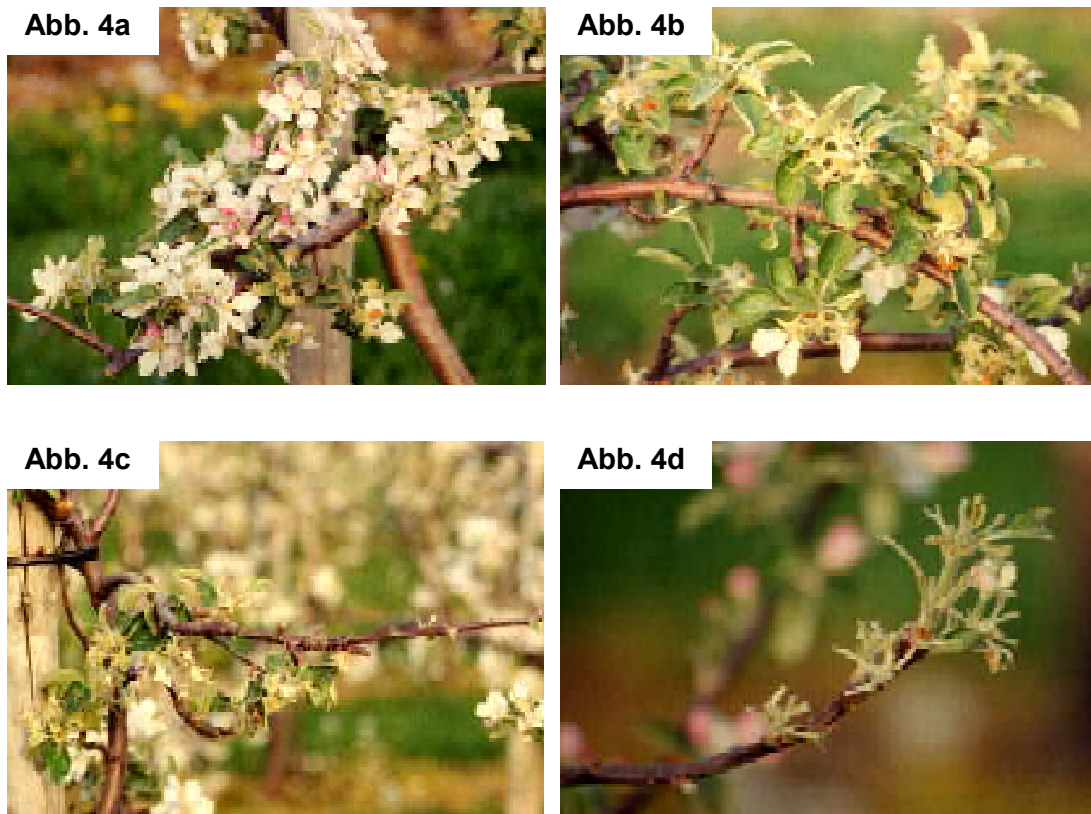


Abb. 4: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die Blütenanzahl und die zur Assimilation verfügbare Blattfläche (Sorte 'Braeburn/M9', Ende April 2000):

- a) unbehandelt
- b) chemische Ausdünnung
- c) maschinelle Ausdünnung
- d) maschinelle Ausdünnung

## Erträge im Behandlungsjahr

Ende August wurde als Folge einseitiger, maschineller Ausdünnung eine um mehr als 50% reduzierte Anzahl Früchte pro Baum im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beobachtet (Abb. 5). Aus diesem Grund konnte nur die Hälfte des potenziellen Ertrages pro Baum geerntet werden. Der Anteil marktfähiger Früchte wurde durch alle Behandlungen erhöht, während die durchschnittliche Fruchtgröße nur durch die maschinelle Ausdünnung statistisch absicherbar positiv verändert wurde (Abb. 8, Tab. 5).

## Erträge im Folgejahr der Behandlungen

Im Folgejahr der Behandlungen war die Anzahl Früchte pro Baum bei den vorjährig maschinell ausgedünnten Bäumen um mehr als 50% erhöht. Im Gegensatz dazu blieb der Fruchtansatz der chemischen Ausdünnungsvarianten und der manuell ausgedünnten Bäume im Vergleich zum Vorjahr annähernd konstant, während die unbehandelte Kontrolle eine deutlich reduzierte Anzahl Früchte pro Baum aufwies (Abb. 5). Sowohl im Jahr der Behandlungen 2000 als auch im Folgejahr 2001 konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Fruchtzahl pro Baum und den Untersuchungen und Bonituren von Knospen und Blüten beobachtet werden (Abb. 10 u. 11).

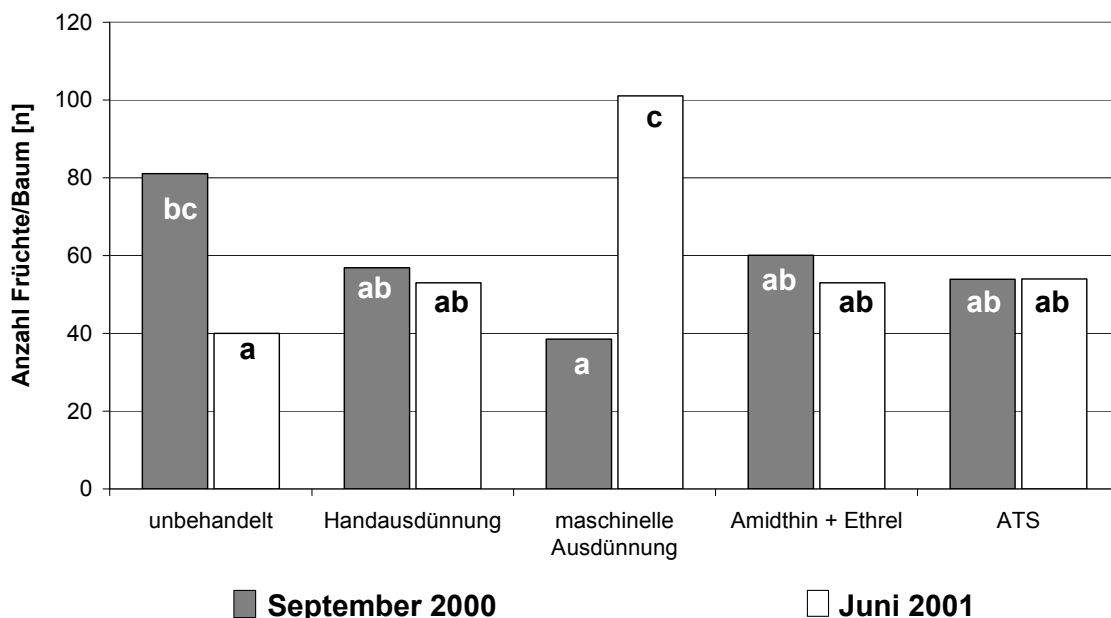


Abb. 5: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die Anzahl Früchte pro Baum (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9'; Statistik getrennt nach Jahren, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Die Erträge pro Baum wurden durch die Behandlungen besonders im Folgejahr deutlich beeinflusst. Während als Folge von manueller und chemischer Ausdünnung sowohl mit AMIDTHIN+ETHREL als auch mit Ammoniumthiosulfat (ATS) die Baumerträge im Jahresverlauf trotz des Hagelereignisses nur geringfügig schwankten, konnte an den unbehandelten sowie an den maschinell ausgedünnten Bäumen im Verlauf von drei Jahren die intensive Entwicklung von Alternanz beobachtet werden, welche aber statistisch nicht immer abzusichern war (Abb. 6).

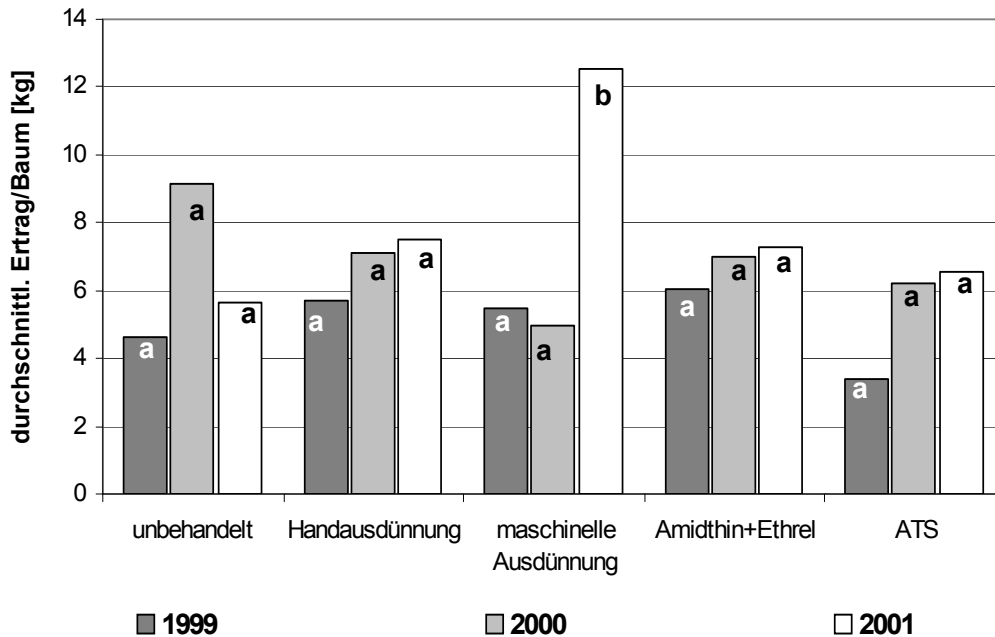


Abb. 6: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die Ertragsmenge pro Baum im Behandlungsjahr sowie im Vorjahr und im Folgejahr der Behandlungen (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Statistik getrennt nach Jahren, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### Einfluss auf die Mineralstoffgehalte der Früchte

Als Folge einseitiger, maschineller Ausdünnung der Blüten war der Fruchtcalciumgehalt zum Zeitpunkt des Probenahmetermins am 26.09.2000 im Vergleich zur unbedienten Kontrolle deutlich reduziert (Tab. 4). Ein Einfluss der durchgeführten Ausdünnungsmaßnahmen auf Kalium- oder Magnesiumgehalte der Früchte konnte nicht beobachtet werden (ohne Abb.). Im Anschluss an die Analysen wurde der Stippequotient berechnet, welcher die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der Früchte während der Lagerung Befalls-symptome der Stippigkeit entwickeln. Durch maschinelle Ausdünnung wurde der Stippequotient im Vergleich zu allen anderen Varianten signifikant erhöht (Abb. 7). Alle Varianten zeigten Stippequotienten deutlich oberhalb der Tole-

ranzschwelle von 12 und waren demnach stark stippegefährdet. Da die Früchte dieses Versuches durch Hagelschlag stark beschädigt wurden, musste aufgrund erhöhter Fäulnisgefahr auf eine Einlagerung verzichtet werden. Somit war eine Bestätigung der Prognose zum Stipperisiko und eine endgültige Bewertung des Einflusses der durchgeführten Maßnahmen auf diese physiologische Erkrankung nicht möglich.

Tab. 4: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Calciumgehalt der Fruchttrockenmasse (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Variante	Calciumgehalt der Früchte [g Ca/100g TM]
unbehandelt	0,012 (b)
Handausdünnung	0,011 (b)
maschinelle Ausdünnung	<b>0,008 (a)</b>
AMIDTHIN + ETHREL	0,011 (b)
ATS	0,011 (b)

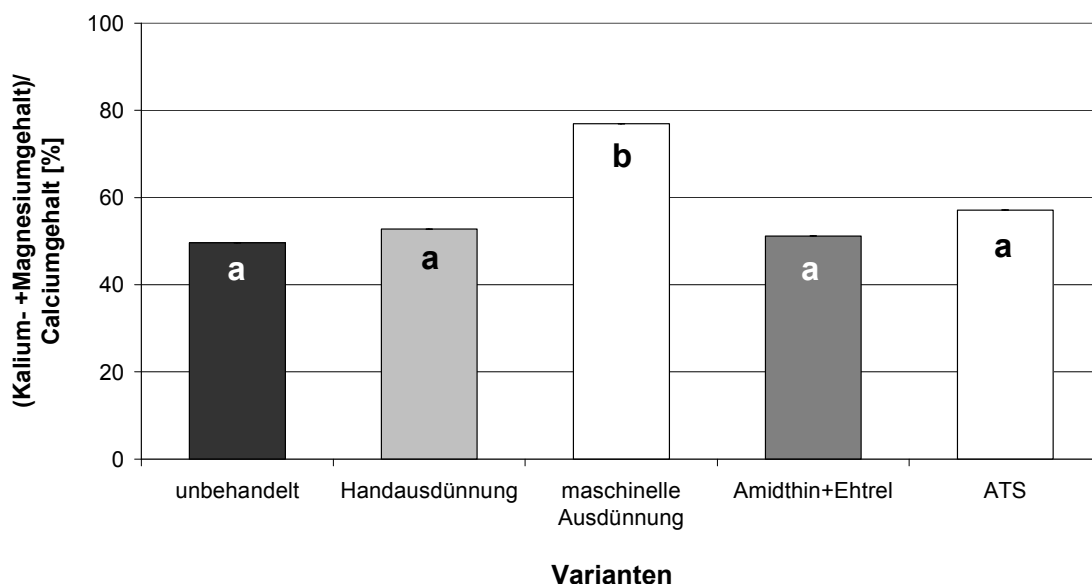


Abb. 7: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Stippequotienten, d.h. die Gefahr des Stippebefalls der Früchte (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Grenzwerte: optimal: 16,833, gefährdet: > 30, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

## Einfluss auf die Fruchtqualität

Alle durchgeführten Ausdünnungsmaßnahmen erhöhten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle den Anteil von Früchten der Handelsklasse I (HK I) mit dem marktfähigen Frucht Durchmesser von 70 - 85 cm. Eine signifikante Zunahme konnte durch manuelle und durch maschinelle Ausdünnung erreicht werden (Abb. 8). Als Folge einseitiger, maschineller Blütenausdünnung wurde die durchschnittliche Größe der geernteten Früchte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um vier Millimeter erhöht (Tab. 5). Ebenso nahmen Fruchtfleischfestigkeit und Zuckergehalt als Folge dieser Ausdünnungsmaßnahme deutlich zu (Tab. 6). Im Gegensatz dazu reduzierte die chemische Ausdünnung der Blüten mit AMIDTHIN+ETHREL die Fruchtfleischfestigkeit (Tab. 6). Rotfärbung, Stärkegehalt und Säuregehalt der Früchte sowie der berechnete Reifeindex wurden nicht beeinflusst (Tab. 6, Fruchtstärkegehalt ohne Abb.).

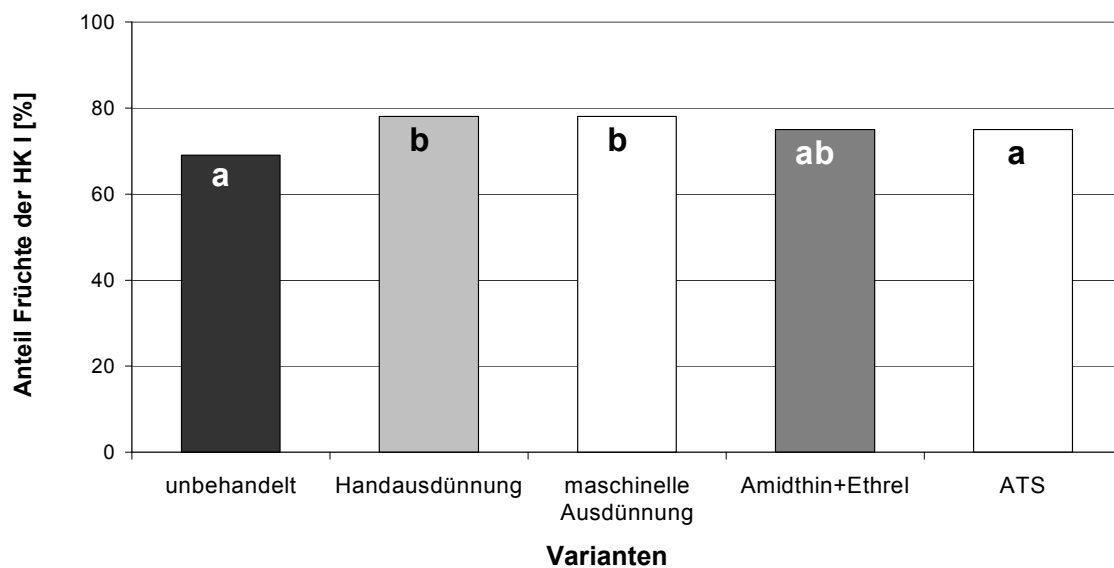


Abb. 8: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Anteil marktfähiger Früchte der HK I mit 70-85mm Frucht Durchmesser (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Oktober 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )



Tab. 5: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die durchschnittliche Fruchtgröße (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Oktober 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

<i>Variante</i>	<i>durchschnittl. Fruchtgröße [mm]</i>
unbehandelt	74,4 (a)
Handausdünnung	76,4 (a)
maschinelle Ausdünnung	<b>80,7 (b)</b>
AMIDTHIN + ETHREL	76,1 (a)
ATS	75,6 (a)

Tab. 6: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die Fruchtqualitätsparameter Fruchtfleischfestigkeit, Zuckergehalt und Säuregehalt (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

<i>Variante</i>	<i>Fruchtfleischfestigkeit [Nm/cm<sup>3</sup>]</i>	<i>Zuckergehalt [%]</i>	<i>Säuregehalt [%]</i>
unbehandelt	9,1 (ab)	11,6 (a)	1,1 (a)
Handausdünnung	<b>9,5 (b)</b>	11,9 (ab)	1,1 (a)
maschinelle Ausdünnung	<b>10,7 (c)</b>	<b>12,7 (b)</b>	1,4 (a)
AMIDTHIN + ETHREL	9,0 (a)	11,9 (ab)	1,0 (a)
ATS	9,3 (ab)	12 (ab)	1,2 (a)

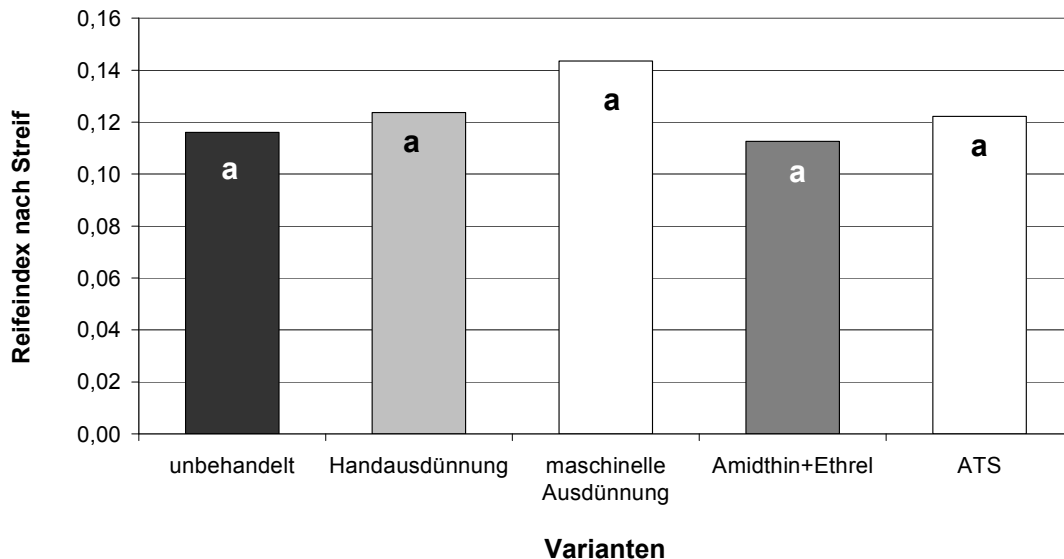


Abb. 9: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Reifeindex nach Streif (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### Einfluss auf die Knospenentwicklung

Der Anteil Blütenknospen am zweijährigen Holz wurde durch die Maßnahmen zur Blütenausdünnung bei der Untersuchung vor Winter im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich erhöht. Eine Ausnahme stellte die AMIDTHIN+ETHREL - Behandlung dar, als Folge derer der Anteil Blütenknospen verdoppelt wurde, deren Wirkung aber statistisch nicht abgesichert werden konnte. Die deutlichste Zunahme wurde durch maschinelle Ausdünnung erzielt, da der Anteil Blütenknospen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle vervierfacht wurde (Abb. 10).

Im Februar 2001 wurden erneut Knospenuntersuchungen durchgeführt. Nur die Steigerung des Anteils Blütenknospen durch maschinelle Ausdünnung blieb bis zu diesem Zeitpunkt als signifikanter Unterschied zur unbehandelten Kontrolle erhalten (Abb. 10). Die übrigen Ausdünnungsmaßnahmen zeigten zwar Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle, diese konnten aber aufgrund der erwarteten leichten Reduktion des Blütenknospenanteils während des Winters statistisch nicht mehr abgesichert werden.

Der Besatz der Blütenknospen mit Lateralblüten wurde durch keine der durchgeführten Ausdünnungen deutlich verändert. Der Anteil Blütenknospen mit fünf Lateralblüten konnte durch die maschinelle und die beiden chemischen Behandlungen erhöht und der Anteil mit vier Lateralknospen verringert

werden, so dass durch diese Maßnahmen die Blütenknospenqualität verbessert wurde. Diese Beobachtungen zur Blütenknospenqualität war aber statistisch nicht absicherbar (Abb. 10).

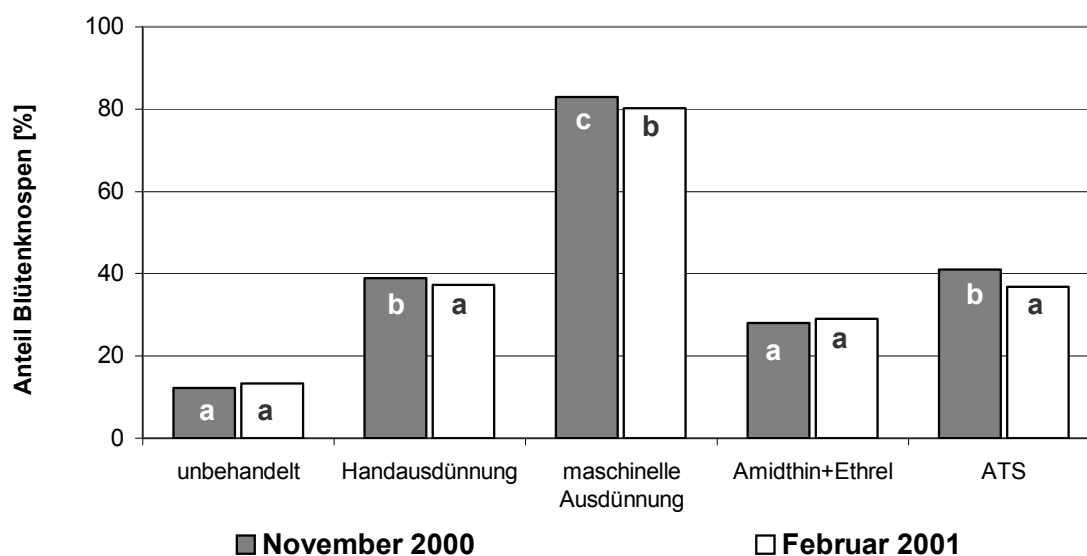


Abb. 10: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Anteil Blütenknospen am zweijährigen Holz (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', November 2000, Februar 2001, Statistik nach Jahren getrennt, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Tab. 7: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf die Anzahl Lateralblüten je Blütenknospe (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Februar 2001)

Variante	3 Lateralblüten/Knospe	4 Lateralblüten/Knospe	5 Lateralblüten/Knospe	6 Lateralblüten/Knospe
unbehandelt	0 % (a)	25,5 % (a)	74,5 % (a)	0 % (a)
Handausdünnung	1,8 % (a)	29,3 % (a)	67,5 % (a)	1,3 % (a)
maschinelle Ausdünnung	0,5 % (a)	16 % (a)	80,7 % (a)	2,8 % (a)
AMIDTHIN + ETHREL	0 % (a)	14,4 % (a)	83 % (a)	2,6 % (a)
ATS	1,3 % (a)	9,6 % (a)	87,1 % (a)	1,3 % (a)

### Einfluss auf die Blühintensität

Die Erfassung der Blühintensität fand im Folgejahr der Behandlungen zur Zeit der Vollblüte (Mai) statt und bestätigte die Ergebnisse der Knospenuntersuchungen. Alle Ausdünnungsmaßnahmen verbesserten die Blüte des Folgejahres im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant. Durch einseitige, maschinelle Ausdünnung wurde die Blüte im Folgejahr der Behandlungen verdoppelt (Abb. 11).

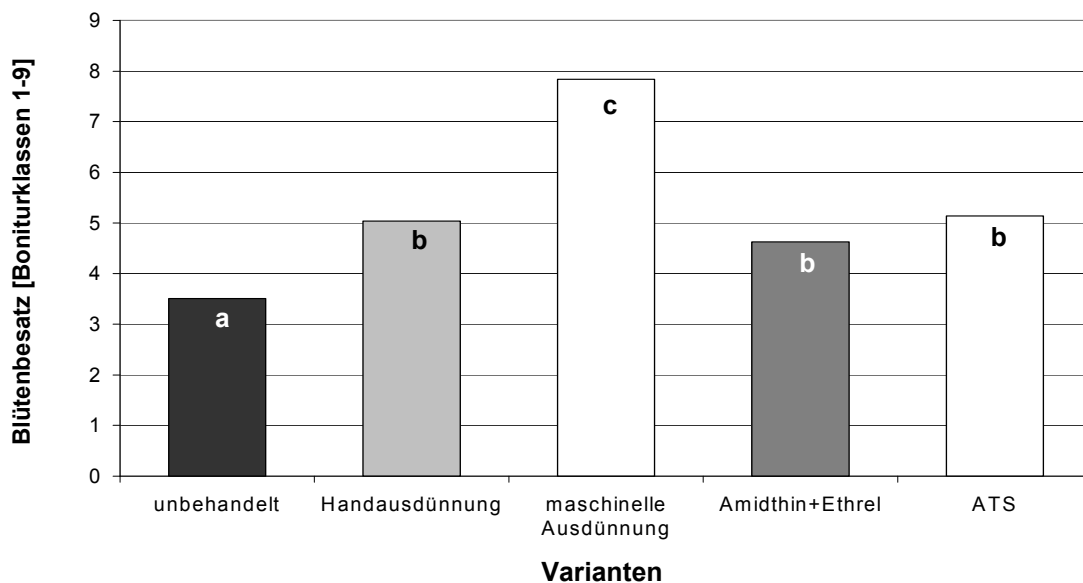


Abb. 11: Einfluss verschiedener Ausdünnungsmaßnahmen auf den Blütenbesatz (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Mai 2001, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.3.2 Blattdüngung mit Wuxal- und Harnstoff-Lösung

#### Einfluss auf die Erträge im Behandlungsjahr

Nach Entfernung der durch Hagelschlag stark beschädigten Früchte konnte zum Erntezeitpunkt im Behandlungsjahr kein Einfluss der beiden verwendeten Blattdünger auf die verbliebene Anzahl Früchte pro Baum oder auf den Anteil von Früchten der Handelsklasse I festgestellt werden (ohne Abb.).

Als Folge der viermaligen Applikation der Blattdünger wurde der durchschnittliche Ertrag pro Baum im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle reduziert (Abb. 13). Ein Teil der Früchte wurde aber aufgrund des Hagels bereits

deutlich vor dem Ernte- und Boniturtermin entfernt, so dass das Boniturergebnis im Jahr 2000 nicht alle gebildeten Früchte der Varianten erfassen konnte.

### Einfluss auf die Erträge im Folgejahr

Die viermalige Behandlung der Bäume mit HARNSTOFF erhöhte den Fruchtansatz signifikant im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Folgejahr der Behandlungen. Dieses Ergebnis bestätigte die durchgeführten Knospenuntersuchungen und die Blütenbonitur (Abb. 12, 16 u. 17). Die statistisch abgesicherte Reduktion des Fruchtansatzes als Folge der Blattdüngung mit WUXAL im Vorjahr wurde bei den vorhergehenden Untersuchungen zum Blütenknospenbesatz und zur Blühintensität noch nicht beobachtet (Abb. 12, 16 u. 17).

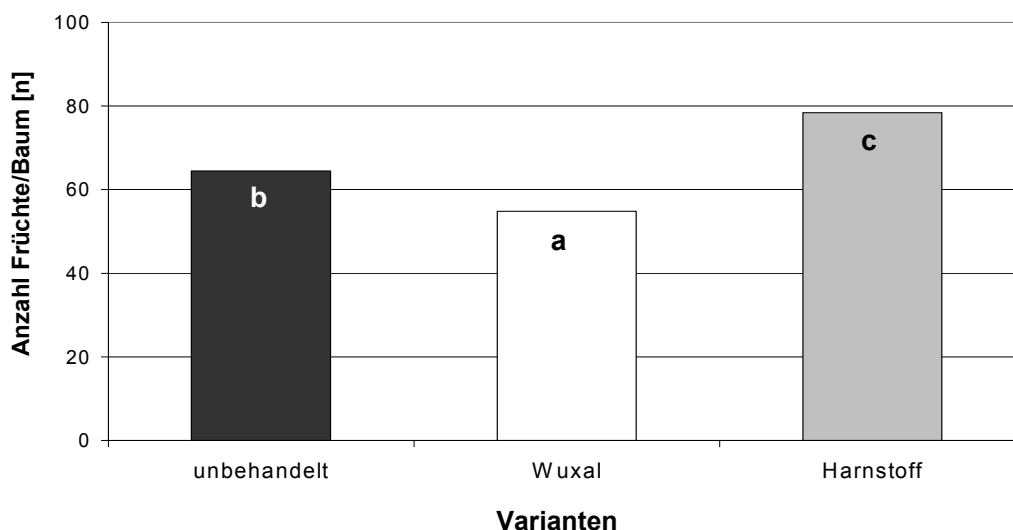


Abb. 12: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf die Anzahl Früchte pro Baum (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Juni 2001, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

Durch viermalige Applikation einer HARNSTOFF-Lösung zur Blattdüngung wurde der Ertrag pro Baum im Folgejahr trotz des Hagelereignisses im Behandlungsjahr im Vergleich zu den vorjährigen Erträgen gefördert. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Erträge im Jahr 1999 und der geringen Baumerträge im Jahr 2000 ist von Alternanzbildung, d.h. schwankender Ertragstreue der Versuchsbäume auszugehen, welche durch die HARNSTOFF-Behandlungen nicht ausgeglichen werden konnte (Abb. 13).

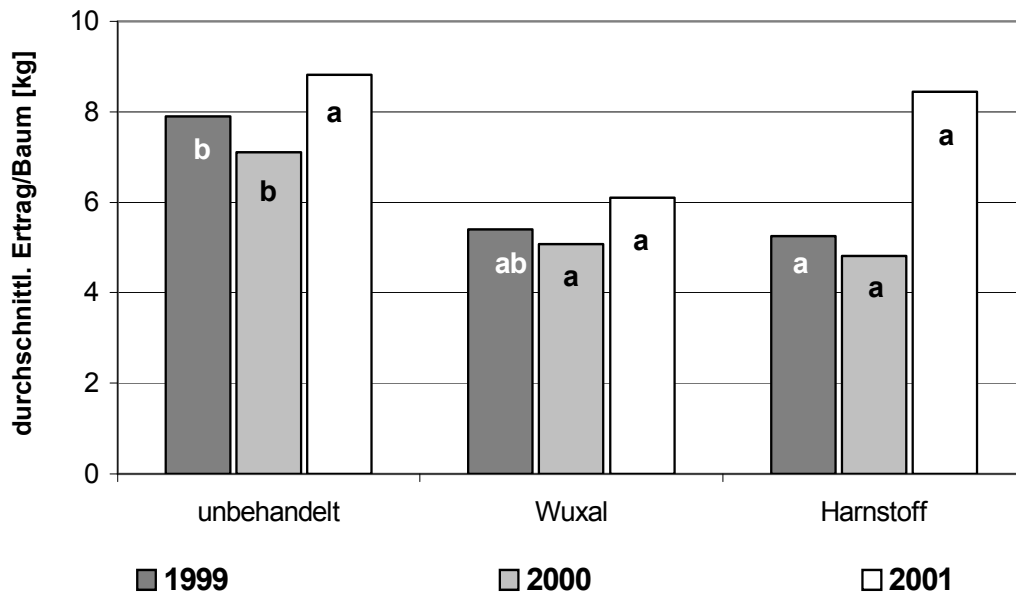


Abb. 13: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf die Ertragsmenge pro Baum im Behandlungsjahr sowie im Vorjahr und im Folgejahr der Behandlungen (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9'; Statistik getrennt nach Jahren, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

### Einfluss auf die Mineralstoffgehalte der Blätter

Die Mineralstoffanalyse der im September entnommenen Blattproben ergab, dass der Blattstickstoffgehalt nach viermaliger WUXAL-Applikation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und der HARNSTOFF-Variante signifikant verringert war. Der geringfügige Kaliummangel der unbehandelten Kontrolle konnte durch die HARNSTOFF-Gaben behoben werden, was durch die statistisch abgesicherte Überschreitung des Grenzwertes 1,10% sichtbar wurde (Tab. 8). Weder Magnesium- noch Calciumgehalte der Blätter wurden durch die Applikationen der Blattdünger verändert (ohne Abb.).

Tab. 8: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf den Stickstoff- und Kaliumgehalt der Blattockentmasse (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

Variante	Stickstoffgehalt der Blätter [g/100g TM]	Kaliumgehalt der Blätter [g/100g TM]
unbehandelt	2,7 (b)	1,078 (a)
Wuxal	<b>2,5 (a)</b>	1,064 (a)
Harnstoff	2,7 (b)	<b>1,197 (b)</b>

### Einfluss auf die Mineralstoffgehalte der Früchte

Die Magnesium- und Kaliumgehalte der Fruchttrockenmasse wurden zum Probenahmetermin im September weder durch die Applikation von HARNSTOFF noch von WUXAL beeinflusst (ohne Abb.). Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle verringerten die beiden Blattdünger deutlich den Calciumgehalt der Früchte (Tab. 9). Der berechnete Stippequotient, welcher die Gefahr des Fruchtbefalls mit Stippe durch relativen Calcium-Mangel während der Lagerung angibt, nimmt durch Behandlung der Bäume mit HARNSTOFF im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich zu (Abb. 14). Alle Früchte dieses Versuches wurden durch Hagelschlag stark beschädigt, weshalb aufgrund erhöhter Fäulnisgefahr auf eine Einlagerung zur Überprüfung der Stippeprognose und einer endgültigen Bewertung des Einflusses der Blattdüngung mit WUXAL und HARNSTOFF auf das Nachernte-Verhalten der Früchte verzichtet werden musste.

Tab. 9: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf den Calciumgehalt der Fruchttrockenmasse (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

<i>Variante</i>	<i>Calciumgehalt der Früchte [g Ca/100g TM]</i>
unbehandelt	0,012 (c)
Wuxal	0,011 (b)
Harnstoff	0,010 (a)

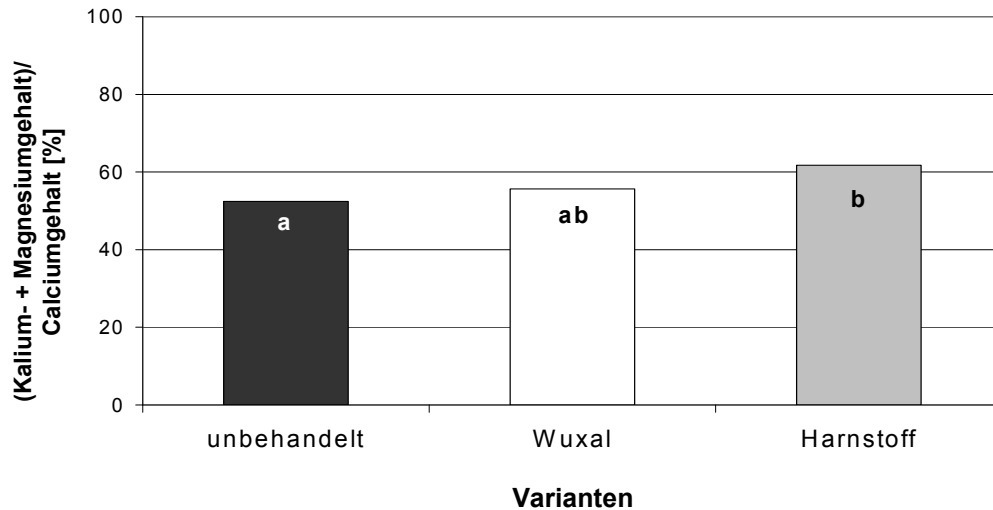


Abb. 14: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf den Stippenquotienten, d.h. die Gefahr der Stippebildung an Früchten (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', September 2000, Grenzwerte: optimal: 16,833, gefährdet: > 30, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

### Einfluss auf die Fruchtqualität

Als Folge der Blattdüngerapplikationen konnte keine Veränderung der durchschnittlichen Fruchtgröße beobachtet werden (Abb. 15). Die übrigen Parameter der Fruchtqualität wurden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ebenfalls weder durch die WUXAL- noch durch die HARNSTOFF-Applikationen beeinflusst (ohne Abb.).

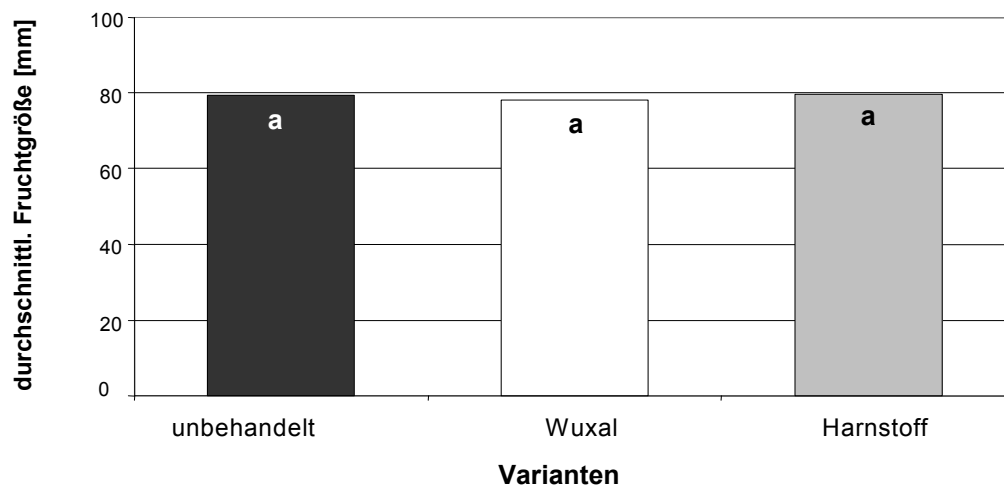


Abb. 15: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf die durchschnittliche Fruchtgröße (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Oktober 2000, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )



## Einfluss auf die Knospenentwicklung

Für das Folgejahr der Behandlungen wurde anhand der Ergebnisse der Knospenuntersuchungen für alle Varianten nur eine mäßige Blüte vorhergesagt. Als Folge der viermaligen Applikation von Harnstoff war eine im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikante Zunahme des Blütenknospenbesatzes vor Winter um 20% zu beobachten. Trotzdem erreichten die mit Harnstoff behandelten Bäume aber nicht das Niveau einer "guten Blüte" (Abb. 16). Obwohl die zweite Bonitur der Blütenknospen im Frühjahr 2001 ein ähnliches Ergebnis zeigte, war eine statistische Absicherung des Unterschiedes zur unbehandelten Kontrolle nicht mehr möglich (Abb. 16).

Die Anzahl Lateralblüten pro Blütenknospe wurde durch die Blattdüngungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht verändert (Tab. 10).

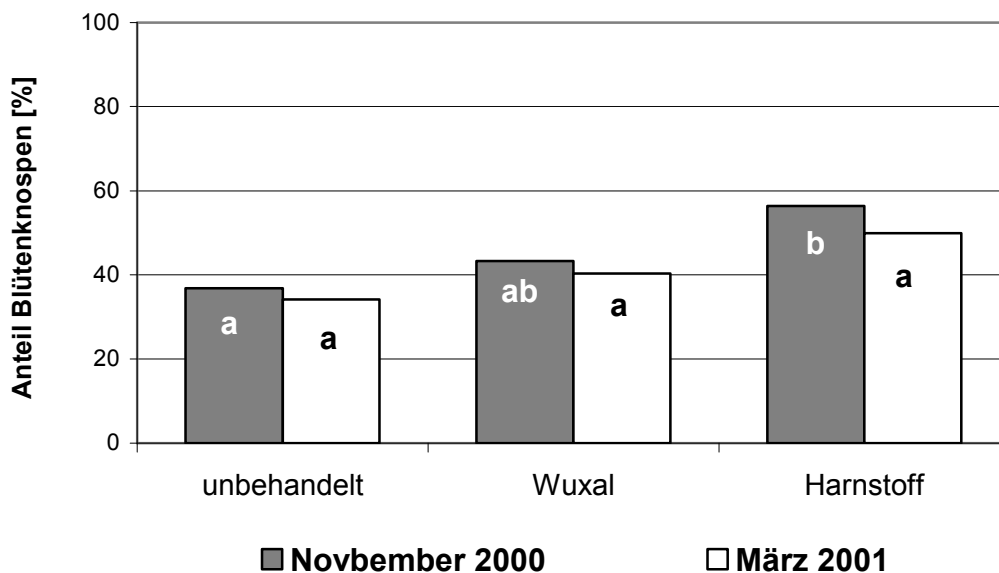


Abb. 16: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf den Anteil Blütenknospen am zweijährigen Holz (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', November 2000, März 2001, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

Tab. 10: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf die Anzahl Lateralblüten pro Blütenknospe (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/M9', Februar 2001)

Variante	4 Lateralblüten/Knospe	5 Lateralblüten/Knospe	6 Lateralblüten/Knospe
unbehandelt	13 % (a)	85 % (a)	2 % (a)
Wuxal	10,5 % (a)	86,7 % (a)	0 % (a)
Harnstoff	10,7 % (a)	88,9 % (a)	3,8 % (a)

### Einfluss auf die Blühintensität

Die Blühintensität zur Zeit der Vollblüte (Mai) wurde durch die HARNSTOFF-Blattbehandlungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich erhöht (Abb. 17). Dieses Ergebnis bestätigte das Resultat der ersten Knospenuntersuchung im Herbst 2000. Das Blühniveau war nur mäßig, wie anhand der Knospenuntersuchungen bereits frühzeitig prognostiziert wurde (Abb. 16 u. 17).

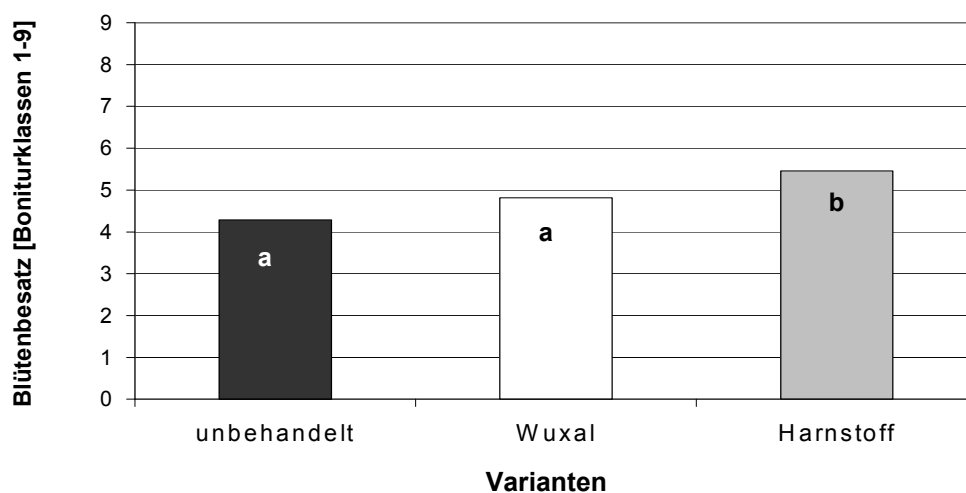


Abb. 17: Einfluss der viermaligen Blattdüngung mit WUXAL- und HARNSTOFF-Lösungen auf den Blütenbesatz (Standort: Klein-Altendorf, 'Braeburn/ M9', Mai 2001, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

## 4 DISKUSSION

Als biotischer Einflussfaktor auf die Ertragsbildung beim Apfel konnte *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. die Entwicklung von Blütenknospen auf zwei verschiedene Weisen verändern. Aufgrund des direkten Befalls von Knospenschuppen entwickelten sich im Frühjahr Befallssymptome an Knospenschuppen, Kelchblättern, Blütenstielen sowie jungen Früchten (Kap. C, Abb. 10). Als Folge der sehr frühen Entwicklung dieser Läsionen wurden Blühintensität sowie Fruchtansatz befallener Bäume deutlich verringert. Bedeutung und Kontrolle des Knospenschorfs im Rheinland wurden in Kapitel „Überwinternde Konidien von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. als Primärinokulum im Rheinland“ beschrieben.

MACHARDY (1996) sowie JONES und ALDWINCKLE (1997) erwähnen, dass als Folge mehrjähriger Entblätterung von Apfelbäumen, welche auf hohe Befallsintensitäten von Blattschorf zurückzuführen waren, Baumwachstum und Blütenknospenbesatz reduziert sein können. Diese Autoren führen aber keine Versuchsergebnisse an. Nur BAILEY (1895) beschreibt Untersuchungen zur Reduktion der Blütenknospenanzahl im Folgejahr hohen Schorfbefalls. Die eigenen Untersuchungen zu diesem Thema zeigten keine eindeutigen Ergebnisse. Im ersten Jahr wurde der Anteil Blütenknospen durch hohen Blattschorf im Vergleich zu unbefallenen Bäumen um 50% reduziert. Im nächsten Jahr traten die ersten Befallssymptome von *Venturia inaequalis* zwei Wochen später auf, so dass zur Zeit der Blütenknospendifferenzierung Anfang bis Ende Juli ein niedrigerer Blattbefall beobachtet wurde. Aus diesem Grund wurde die Assimilationsfläche in entsprechend geringerem Umfang reduziert. Den dargestellten Ergebnissen zufolge wird der Blütenknospenbesatz nur durch deutliche Minderungen der vorhandenen Assimilationsfläche verringert, so dass nur hohe Blattbefallsintensitäten die Anlage und Entwicklung von Blütenknospen des Apfels beeinflussen. Tritt dieser hohe Blattschorf zur Zeit der Blütenknospendifferenzierung im Juli auf, so besteht die Möglichkeit negativer Auswirkungen auf die Blütenbildung.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Versuchsjahre könnten auch in einer erhöhten Widerstandsfähigkeit der Versuchsbäume begründet sein, welche auf das hohe Alter und das langjährige Fehlen jeglicher Fungizidmaßnahme zurückzuführen war, so dass sich ein natürliches Gleichgewicht zwischen Wirt und Pathogen eingestellt haben könnte. Junge Bäume zu Beginn ihrer Ertragsphase hätten vermutlich sehr viel empfindlicher auf eine Reduktion ihrer noch nicht so üppigen Blattmasse reagiert und

sich deshalb anfälliger gegenüber negativen Auswirkungen hohen Apfelschorfbefalls auf die Blütenknospenentwicklung gezeigt (MACHARDY 1996).

Den Ergebnissen dieser zweijährigen Untersuchungen zufolge ist eine Minderung der Blütenknospenentwicklung und -qualität nur zu erwarten, wenn die Befallsintensität des Apfelschorfs eine sehr deutliche Reduktion der Assimilationsfläche bewirkt, wie sie nach der Entblätterung ganzer Zweige beobachtet werden konnte. STOCKERT und STÖSSER (1996) beschreiben eine Beeinträchtigung der Blüteninitiation und der Blütendifferenzierung als Folge einer Entblätterung von Ästen ohne Fruchtbehang zur Zeit der Blüteninitiation von Anfang bis Mitte Juli. Die behandelten Bäume konnten dieses Defizit aber über Winter ausgleichen, so dass im folgenden Frühjahr keine Unterschiede der Blühintensität beobachtet wurden (STOCKERT 1995). Die beschriebene Entblätterung verursachte eine Unterversorgung von Früchten und aufgrund der beschriebenen Konkurrenzsituation im Baum auch eine Unterversorgung der Knospen mit Assimilaten, welche nach der Neubildung der fehlenden Blätter ausgeglichen werden konnte. Bei deutlicher Reduktion der zur Photosynthese fähigen Blattfläche, wie sie z.B. durch Verätzungen an Blättern durch chemische Ausdünnung mit Ammoniumthiosulfat oder Harnstoff beobachtet aber auch für Blattschorf beschrieben wurde, konnte ebenfalls eine unzureichende Versorgung der Früchte mit Assimilaten sowie eine Minderung der Blütenbildung beobachtet werden (HANSEN 1978, SPOTTS u. FERREE 1979, POLOMSKI et al. 1988, PROCTOR u. PALMER 1991, SCHRÖDER 2001). Die in ihrer Assimilationsleistung aufgrund hoher Befallsintensitäten des Apfelschorfs eingeschränkte Blattfläche könnte aber im Gegensatz zu den Verlusten nach manueller Entblätterung nur schwer ersetzt werden, da der Neuaustrieb bei Eintreten von Infektionsbedingungen kontinuierlich befallen wird (MACHARDY 1996). Aus diesem Grund erscheint der Ausgleich der Defizite der Blütenbildung während des Winters, wie er bei STOCKERT u. STÖSSER (1996) nach manueller Entblätterung von Trieben durch eine beschleunigte Entwicklung beschrieben wurde, nach hohem Blattschorf nur bedingt möglich.

Zur Untersuchung der möglichen Auswirkungen von Blattschorf auf die Blütenknospenbildung und verschiedene Fruchtqualitätsparameter wurden verschiedene Ausdünnungsmaßnahmen angewendet, um die Wirkung eines durch Fruchtschorf unkontrolliert reduzierten Fruchtbehangs auszuschließen. Die Menge der vorhandenen Früchte zur Zeit der Blüteninitiation beeinflusst die Anzahl der generativen Knospen sehr deutlich (SCHUMACHER et al. 1993a u. 1993b).

Bei der Handausdünnung wurden überzählige Früchte ohne Schädigung der Assimilationsfläche entfernt. Die Erhöhung des Anteils marktfähiger Früchte der Handelsklasse I ist auf die bevorzugte Entfernung von beschädigten oder unterentwickelten Früchten zurückzuführen. Da die manuelle Ausdünnung verhältnismäßig spät in der Vegetationsperiode stattfand, konnte den Literaturangaben entsprechend keine Veränderung der durchschnittlichen Fruchtgröße beobachtet werden (MCARTNEY et al. 1995). Die Entstehung von Alternanz wurde unterbunden und die Blühintensität des Folgejahres im Vergleich zur nicht ausgedünnten Variante deutlich gefördert, obwohl die Behandlung nach den für die Vermeidung von Alternanz entscheidenden vier bis sechs Wochen nach der Blüte stattfand (LINK 1969, LINK 1978, KATZFUSS 1984, DOLEGA u. BERTSCHINGER 1998). Die Handausdünnung erzielte mit den beiden chemischen Ausdünnungen vergleichbare Ergebnisse, ist aber aufgrund der notwendigen Handarbeit zu zeit- und personalintensiv. Diese Form der Fruchtausdünnung stellt allerdings zur Zeit eine der wenigen zuverlässigen und zugelassenen Methoden für den organischen Anbau dar und wird als Ergänzung der anderen Verfahren sowie zur frühzeitigen Entfernung beschädigter Früchte auch im integrierten Anbau als notwendig und sinnvoll erachtet.

Nach EBERT (1987) förderte eine chemische Ausdünnung kurz nach der Vollblüte die Blütenbildung stärker als eine nach dem Junifall praktizierte Handausdünnung. Dieses Resultat sowie die Aussage, dass je früher eine Ausdünnungsmaßnahme durchgeführt wird, desto größer ihr Einfluss auf Fruchtqualität und Alternanzvermeidung (BERTSCHINGER u. STADLER 1997), wurden durch die eigenen Untersuchungen nicht vollständig bestätigt. Als Folge der beiden chemischen Behandlungen konnte die ausgeglichene Produktivität der Bäume sichergestellt werden. Der Fruchtbehang wurde demzufolge soweit reduziert, dass keine Konkurrenz zwischen Fruchtwachstum und Blütenbildung auftrat (HANSEN 1978). Die Angaben in der Literatur bezüglich der recht zuverlässigen Wirkung von AMIDTHIN- und Ammoniumthiosulfat-Präparaten zur Blütenausdünnung bestätigten sich (NOGA u. ENGEL 1986, KOEKEN 1998, HILBERS u. CLEVER 1999, BUKOVAC et al. 2000, SCHRÖDER 2001). Da aber weder der Anteil marktfähiger Früchte der Handelsklasse I noch die durchschnittliche Fruchtgröße verändert wurden, fanden sich die Literaturangaben zur Zunahme der durchschnittlichen Fruchtgröße nach chemischer Ausdünnung nicht bestätigt (WILLIAMS 1979, WIDMER 1995). Ebenso wurden keine Verätzungen der Blätter nach der Ammoniumthiosulfat-Behandlung beobachtet, wie SCHRÖDER (2001) sie beschrieb. Die Schädigung der Assimilationsfläche fand demnach in sehr geringem Ausmaß statt

und hatte keinen sichtbaren Einfluss auf die Konkurrenz zwischen Blütenbildung und Fruchtwachstum. Aufgrund des Fehlens der erwarteten phytotoxischen Reaktion der Blätter auf die Applikation der chemischen Ausdünnungspräparate war die Untersuchung des Einflusses geringer Blattschädigungen auf Fruchtqualität und Blütenbildung in Verbindung mit einer deutlichen Reduktion des Fruchtbehangs nicht möglich. Die Anwendung chemischer Verfahren zur Blüten- und Fruchtausdünnung stellt sich problematisch dar, da in Deutschland derzeit kein Ausdünnungspräparat zugelassen ist. Zusätzlich sind chemische Präparate aufgrund ihrer Witterungs- und Sortenabhängigkeit häufig unzuverlässig (WEBSTER u. SPENCER 1999, LAFER 2000, LINK 1981). Auch im organischen Apfelanbau stehen zur Zeit keine zuverlässigen Präparate zur Verfügung.

Das sogenannte 'Fadengerät' schlägt in Abhängigkeit von Anzahl und Länge der Fäden, von der Fahrgeschwindigkeit sowie von der Drehzahl der Spindel Blüten und Früchte ab (GLENN et al. 1994, LINK u. SCHRÖDER 1997, STADLER u. BERTSCHINGER 1998, HANDSCHACK 1999). Der Einsatz dieses Gerätes zur maschinellen Ausdünnung von Blüten und jungen Früchten stellt ein Verfahren dar, welches weder durch Witterung noch durch die Apfelsorte wohl aber durch die Erziehungsform der Bäume beeinflusst wird. Als Folge maschineller Ausdünnung wurden nicht nur Blüten sondern auch Blätter und junge Triebe entfernt oder beschädigt. Die Auswirkungen dieses Ausdünnungsverfahrens können mit sehr hohen Befallsintensitäten von *Venturia inaequalis* an Blättern, Blüten und Trieben verglichen werden. Aufgrund der intensiven Reduktion des Fruchtbehangs wurde nach einseitiger maschineller Ausdünnung die deutlichste Verbesserung des Blütenknospenansatzes für das Folgejahr sowie der höchste Anteil von Früchten der Handelsklasse I im Behandlungsjahr beobachtet. Aufgrund dieser extremen Reduktion des Fruchtbehangs im Behandlungsjahr löste maschinelle Ausdünnung im Folgejahr aber Alternanz aus.

STOCKERT u. STÖSSER (1996) sowie SCHUMACHER (1991, 1993a u. 1993b) beschreiben nach manueller, einseitiger Blütenentfernung die Umverteilung von Nährstoffen von der nicht tragenden zur tragenden Seite. Den verbleibenden Früchten standen ausreichend Assimilate zur Verfügung, so dass keine Konkurrenz zwischen wachsenden Früchten und sich entwickelnden Blütenknospen entstand und Alternanz erfolgreich verhindert wurde. Diese Arbeitsgruppen entfernten die Früchte manuell, wodurch eine Schädigung der vorhandenen Blattmasse ausgeschlossen werden und keine Konkurrenz aufgrund verstärkter Blattneubildung entstehen konnte. SCHUMACHER (1991)

beobachtete an mit ETHREL ausgedünnten Bäumen, dass an der ausgedünnten Baumhälfte verbleibende Früchte den Assimilatquertransport von der tragenden zur nicht tragenden Baumseite behindern können. Auch bei der maschinellen Ausdünnung verblieben vereinzelt Blüten in Stammnähe an der behandelten Baumseite, welche den beschriebenen Quertransport erschweren bzw. unterbinden könnten. Alle Früchte der maschinellen Ausdünnungsvariante wiesen eine deutliche Minderung des relativen Calciumgehaltes auf, und aufgrund dessen bestand eine erhöhte Gefahr des Stippebefalls während der Lagerung. Für diese Mangelercheinung kommen zwei verschiedene Erklärungsansätze in Betracht:

Durch die Zerstörung der Assimilationsfläche entsteht eine deutliche Konkurrenz um Nährstoffe zwischen dem notwendigen Neuaufbau der Blätter und den wachsenden Früchten, wie durch den Calciummangel der Früchte deutlich wird. Aufgrund der Phloemimmobilität von Calcium sind Aufnahme sowie Transport vom Transpirationsfluss und besonders von der Transpirationsrate abhängig (HILL 1980). Aus diesem Grund ist die Aufnahme des Calciums in die Früchte nur gewährleistet, wenn ein ausreichender Transpirationsstrom zu den Früchten vorhanden ist (WITNEY et al. 1991, WINTER et al. 1992). Früchte gehören zu den wenig transpirierenden Organen eines Apfelbaumes, und so gelangt im Verlauf des Fruchtwachstums nur wenig Calcium in die Frucht, da die neugebildeten Blätter höhere Transpirationsraten aufweisen (PALZKILL et al. 1976, SCHUMACHER et al. 1980). Nach Entblätterung von Kurztrieben, welche auch nach Blattschorf auftreten kann, wurden aufgrund einer verringerten Translokationsrate in Richtung der Früchte ebenfalls reduzierte Fruchtcalciumgehalte beobachtet (LANG u. VOLZ 1998). Durch starke Förderung des vegetativen Wachstums, wie es z.B. auch nach erhöhter Stickstoffdüngung zu beobachten ist, wird die Einlagerung von Calcium in die wachsenden Früchte aufgrund einer Verschiebung des Sink/Source-Verhältnisses im Baum deutlich reduziert (SHEAR 1980, FAILLA et al. 1990, FORSHEY et al. 1992). Im Gegensatz zu der von STADLER u. BERTSCHINGER (1998) beschriebenen Fähigkeit des Baumes, die Verluste der geschädigten Blattmasse im Behandlungssektor zügig auszugleichen und zum Zeitpunkt des Fruchtwachstums bereits wieder Assimilate durch Quertransport zur Verfügung zu stellen, erhöhten maschinelle Ausdünnung und anschließende Verletzung der Blatt- und Fruchtoberflächen durch Hagel den Assimilatbedarf der Triebe auf Kosten der Mineralstoffeinlagerung in die Früchte.

Ein weiterer Erklärungsansatz ergibt sich aus der Tatsache, dass Ausdünnungsmaßnahmen durch Erhöhung der durchschnittlichen Fruchtgrößen die

Entstehung einer großen Anzahl Stippe-anfälliger Früchte fördern (LINK 1978, VAN DER BOON 1980, JOHNSON 1992, VOLZ u. FERGUSON 1999). Der Calciumgehalt wird in Früchten durch Zunahme des Fruchtvolumens während des Wachstums verdünnt, d.h. in größeren Früchten sind die Calciumgehalte vergleichsweise niedrig (BROOM et al. 1998). Dadurch wird die Lagerfähigkeit von Früchten durch Zunahme der Fruchtgröße aufgrund des relativ verringerten Calciumgehaltes und der erhöhten Stippegefahr herabgesetzt (WESTWOOD u. BILLINGSLEY 1967, JOHNSON et al. 1987, FERGUSON u. WATKINS 1989, FAILLA et al. 1990, FERGUSON u. WATKINS 1992).

Vermutlich erfolgte ein Zusammenspiel beider Erklärungsansätze, so dass sowohl die gestörte Verteilung von Assimilaten als auch die Verdünnung der Calciumgehalte durch erhöhte Fruchtgrößen die verstärkte Stippegefahr der Früchte der maschinellen Ausdünnungsvariante bewirkten.

Reduktionen der Blattfläche verbunden mit einem erhöhten Fruchtfall, wie sie bei hohem Apfelschorfbefall häufig beobachtet und anhand der maschinellen Ausdünnung z.T. simuliert werden konnten, könnten den beschriebenen Ergebnissen zufolge die Fruchtqualität im Befallsjahr nicht nur durch Befalls-symptome sondern auch durch die Minderung der inneren Qualitätsparameter verschlechtern. Besonders die Lagerfähigkeit der Früchte würde aufgrund zunehmender Fruchtgrößen herabgesetzt, da große Früchte anfälliger für Stippe sind (SCHUMACHER et al. 1980, VAN DER BOON 1980). Als Folge des verstärkten Fruchtfalls durch hohen Schorfbefall an jungen Früchten könnte aber der Zuckergehalt erhöht werden (SCHUMACHER et al. 1993b, VOLZ u. FERGUSON 1999). SCHUMACHER (1991) beschreibt nach einseitiger Ausdünnung ebenfalls Zunahmen der Zuckergehalte und führt dies auf eine bedeutende Assimilatverschiebung zurück. Fruchtbefall des Apfelschorfs führt aber nicht zu einer einseitigen Ausdünnung des Fruchtbesatzes. Wurden Früchte bzw. Blüten über den Baum verteilt reduziert, so setzte der Assimilattransport von den nicht tragenden zu den tragenden sehr viel schneller ein und die Konkurrenz zwischen Fruchtbehang und Blütenknospendifferenzierung wurde früher ausgeschaltet (SCHUMACHER u. STADLER 1991). Auch bei einer Reduktion des Fruchtbehangs als Folge hohen Fruchtschorfs werden die Früchte nicht einseitig sondern über den Baum verteilt entfernt, trotzdem ist nicht von einer schnellen Anpassung des Assimilattransportes auszugehen. Aufgrund der reduzierten Blattfläche und des Fehlens ausreichender Blattneubildung als Folge der kontinuierlichen Infektion von jungen Blättern mit Apfelschorf wäre die Versorgung der Früchte nicht sichergestellt.



Falls die Schwankungen der Produktivität von Apfelbäumen ausschließlich auf Assimilatmangel durch Konkurrenz der gleichzeitig stattfindenden Entwicklungs- und Wachstumsprozesse zurückzuführen wären, so müssten Blattdünger appliziert zur Zeit der Blüteninitiation, diesen Mangel ausgleichen können. Die Deutung der Ergebnisse des Versuches zur Einflussnahme von HARNSTOFF und WUXAL als Blattdünger war durch das extreme Hagelereignis im Jahr 2000 erschwert. Durch Hagelschlag traten starke Verletzungen und Reduktionen von Blättern und Früchten an den Versuchsbäumen auf.

Der bessere Blütenknospenbesatz und Fruchtansatz der HARNSTOFF-Variante im Folgejahr der Behandlungen konnte auf eine schnelle und hohe Aufnahme des Stickstoffs über das Blatt aufgrund der Amid-Form dieses Stickstoff-Düngers zurückgeführt werden (FRIEDRICH 1993, SCHOLZ u. HELM 2001). Mit Hilfe von Blattdüngern können fehlende Nährstoffe kurzfristig im richtigen Wachstumsabschnitt an den Ort des Bedarfs gebracht werden. Die hauptsächliche Stickstoffversorgung muss aber über eine angemessene Bodendüngung erfolgen (JÜRGENS 1987, FALLAHI et al. 1997). Aufgrund der durchgeführten Blattdüngung mit HARNSTOFF stand mehr Stickstoff für die Neubildung der durch Hagel zerstörten Blattfläche zur Verfügung, weshalb die Konkurrenz zwischen der Neubildung von zerstörter Blattfläche, dem Fruchtwachstum und der Blütenknospendifferenzierung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geringer ausfiel. Den Ergebnissen zufolge könnte Alternanz, welche durch negative Witterungseinflüsse bzw. Reduktion von Blattflächen und Schädigung von Früchten entstehen kann, durch eine viermalige Blattdüngung mit HARNSTOFF bzw. einem anderen, schnell wirkenden Stickstoffdünger gemildert aber nicht verhindert werden.

Ausschlaggebend für einen weiteren Interpretationsansatz des Blattdüngungsversuches waren die schwankenden Ergebnisse der HARNSTOFF-Variante bei Betrachtung der Erträge pro Baum im Verlauf von drei Jahren, d.h. im Vorjahr, im Behandlungsjahr und im Folgejahr. Hierbei kristallisierte sich eine Neigung der Versuchsbäume dieser Variante zur Alternanz heraus, welche durch die Blattdüngung mit HARNSTOFF-Lösung nicht durchbrochen werden konnte. Diese Beobachtung unterstützt die Annahme von FRIEDRICH et al. (1986), dass die Entstehung von Alternanz nicht unbedingt auf eine Konkurrenz um Assimilate, sondern auf ein Ungleichgewicht des Phytohormonhaushaltes zurückzuführen ist. Eine positive Einflussnahme der HARNSTOFF-Blattdüngung auf die Blütenknospenentwicklung konnte aber nicht gänzlich abgelehnt werden, da die unbehandelte Kontrollvariante eine

ähnliche Ertragsentwicklung im Verlauf der ersten beiden Jahre aufwies, aber im Folgejahr der Behandlungen gleichbleibend niedrige Erträge zeigte. Diese Ertragsminderung der Kontrollbäume im Folgejahr der Blattdüngungen fand ihre Begründung in dem extremen Hagelereignis des Behandlungsjahres. Aufgrund der bekannten befalls mindernden Wirkung von Harnstoff auf die Entwicklung von *Venturia inaequalis* könnte die Blattneubildung angeregt und der Neuzuwachs gleichzeitig bedingt vor Schorfbefall geschützt worden sein. Diese Möglichkeit bedarf aber weiterer Versuche zum Ausmaß der Befallsreduktion durch niedrige Konzentrationen von HARNSTOFF, da hohe Aufwandmengen, wie sie zur Ausdünnung von Blüten eingesetzt werden, Blattschäden hervorrufen (GUPTA u. LELE 1980, MACHARDY 1996, SCHRÖDER 2001).

Wenn die Konkurrenz zwischen den Wachstumsprozessen in keinem Maß auf die Konkurrenz um Assimilate sondern ausschließlich auf eine veränderte Konstellation der Phytohormone zurückzuführen wäre, müsste eine gezielte Blattdüngung zur Förderung der Blütenknospenentwicklung wirkungslos bleiben, und der mögliche negative Einfluss von Blattschorf auf die Blütenknospenentwicklung wäre nicht mit der deutlich sichtbaren Reduktion der Assimilationsfläche zu begründen (GRASMANIS u. EDWARDS 1974, LINK 1994).

Eine Kombination beider Theorien zur Einflussnahme der Blattdüngungen mit Harnstoff auf die Blütenknospenentwicklung erscheint wahrscheinlich. Die viermalige Blattdüngung mit HARNSTOFF im Juni und Juli zur Zeit der Blüteninitiation glich kurzfristig Nährstoffdefizite aus, wodurch die Konkurrenzsituationen gemildert und Erträge im Behandlungs- und im Folgejahr gesichert wurden. Durch die Stickstoffapplikation konnte die Blütenknospenentwicklung gefördert werden, wobei aber die Calciumaufnahme der Früchte ohne Zunahme der durchschnittlichen Fruchtgröße verringert wurde. Dieses Ergebnis deutete eine Veränderung der sink-Funktion der Früchte bzw. der Richtung des Transpirationsstromes zu den Blättern an und bestätigte die Beobachtungen von ZYDLIK u. PACHOLAK (1997), dass bei steigender Stickstoffernährung Magnesium- und Calciumgehalte der Blätter sinken. Die Applikationen des schnell verfügbaren Stickstoffs regte vermutlich die Neubildung der durch Hagel verletzten Blattfläche an, wodurch deren Attraktion als sink für Assimilate gesteigert und der Transpirationsstrom in deren Richtung umgeleitet wurde (FORSHEY et al. 1992).

Die dargestellten Ergebnisse bestätigten die Vermutung, dass die Konkurrenz zwischen Wachstums- und Entwicklungsprozessen, welche die jährli-

chen Ertragsschwankungen des Apfels begründen, auf einer Verschiebung der Phytohormonkonstellationen beruhen und durch Assimilatmangel verstärkt werden. Blattdüngungen milderten Alternanzerscheinungen, wenn Reduktionen der Blattmasse vorlagen, konnten Ertragsschwankungen aufgrund unzureichender Blütenbildung aber nicht gänzlich verhindern. Möglicherweise könnten Verluste der Assimilationsfläche und darauf beruhende Reduktionen der Blütenbildung im Folgejahr durch HARNSTOFF-Applikationen zur Zeit der Blüteninitiation gemildert werden.

Hohe Befallsintensitäten von *Venturia inaequalis* auf Blättern und Früchten können die Blütenknospenentwicklung der Apfelbäume negativ beeinflussen, da durch Reduktion der vorhandenen Blattfläche die verfügbare Menge der Assimilate verringert wird. Gleichzeitig können sink/source-Beziehungen im Baum durch Pathogenbefall verändert werden, da befallene Blätter Attraktionszentren für Assimilate aus unbefallenen Blättern darstellen (ELSTNER 1996). Krankheitsbefall auf den Blättern erhöht die Konkurrenz um Assimilate im Baum, da wachsende Früchte und der Erreger im Blatt gleichzeitig Attraktionszentren für Nährstoffe darstellen. Aufgrund der Blattzerstörung während der Sporulation der Schorflesionen kann es aber auch zu einer Veränderung der Phytohormonkonstellation kommen, so dass hier ebenfalls beide Prozesse zur Erklärung der Wirkung herangezogen werden sollten. Durch hohe Blattschorfbefallsintensitäten kurz nach der Blüte bis zur Blütenknospeninitiation im Juli kann die Blütenknospenentwicklung für das Folgejahr negativ beeinflusst werden. Aufgrund des praxisüblichen Schutzes der jungen Früchte durch gezielte Fungizidmaßnahmen wird das Auftreten hoher Befallshäufigkeiten von *Venturia inaequalis* aber in dieser Zeit bei sachgemäßer Kontrolle des Erregers in der Regel unterbunden.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Die gezeigten Ergebnisse bestätigen die zahlreichen Literaturangaben zur Abhängigkeit der Blütenknospenentwicklung von einer Vielzahl biotischer und abiotischer Einflussfaktoren. Bei der Differenzierung und Entwicklung von Blütenknospen beim Apfel handelt es sich um einen empfindlichen Vorgang, der vom Gleichgewicht der Wachstums- und Entwicklungsprozesse im Baum abhängig ist. Dieses notwendige Gleichgewicht bezieht sich sowohl auf die ausreichende und gleichmäßige Versorgung der verschiedenen vegetativen und generativen Prozesse mit Assimilaten als auch auf das notwendige Zusammenspiel der unterschiedlichen Phytohormone. Es konnte gezeigt werden, dass die Blütenknospenentwicklung des Apfels durch verschiedene Maßnahmen positiv verändert werden kann. Dieser fördernde Effekt ist aber durch unvorhersehbare Faktoren, wie z.B. Hagelereignisse im Juni, leicht zu beeinflussen und dann schwer abzuschätzen.

*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. verändert als biotischer Einflussfaktor die Entwicklung von Blütenknospen auf zwei verschiedene Weisen. Ein direkter Befall der Knospen kann sehr frühe Symptome an Blüten, Blättern und Früchten hervorrufen. Verbräunungen im Inneren sich entwickelnder Knospen konnten nicht mit diesem Pathogen in Verbindung gebracht werden. Die Veränderungen traten nur in Blattknospen und unabhängig vom Befall der Bäume mit *Venturia inaequalis* auf. Es könnte sich um abgestorbenes Gewebe handeln, welches bei der Rückentwicklung von Blüten- zu Blattknospen zurückbleibt.

Apfelschorf kann die Blütenknospenentwicklung durch Reduktion der photosynthetisch aktiven Blattfläche beeinträchtigen, wenn hohe Befallsintensitäten auftreten. Verschiedene Ausdünnungsintensitäten ermöglichten die Untersuchung der Wirkung des Apfelschorfbefalls auf Fruchtqualität und Blütenknospenentwicklung ohne das Auftreten von Fruchtschorf. Die Notwendigkeit hoher Reduktionen der Assimilationsfläche und des Fruchtansatzes zur Beeinflussung von Fruchtqualität und Blütenbildung wurde hierbei deutlich.

Blattdüngungen mit Stickstoff können, kurzfristig im richtigen Wachstumsabschnitt an den Ort des Bedarfs gebracht, die Konkurrenz um Assimilate der verschiedenen Pflanzenorgane aufgrund intensiver Wachstumsprozesse mildern aber nicht verhindern. Die Konkurrenz beruht demzufolge vermutlich auf Veränderungen der Phytohormonkonstellation und wird durch Assimilatmangel verstärkt.

## **E Alternativen zum Einsatz von kupferhaltigen Präparaten zur Kontrolle von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.**

### **1 EINLEITUNG**

Für eine ausreichende Kontrolle des Apfelschorfs werden im integrierten Apfelanbau jährlich 10 bis 18 Fungizidbehandlungen ausgebracht (MACHARDY et al. 2001). Dem organischen Apfelanbau stehen für eine zuverlässige Bekämpfung dieser wichtigsten Pilzkrankung zur Zeit fast ausschließlich Kupfer- und Schwefelpräparate zur Verfügung. Als kostengünstige und zuverlässige Maßnahme werden jährlich mindestens 1,4 kg/ha Kupfersalze zur Kontrolle von Pilzkrankheiten ausgebracht (BBA 1999). In günstigen Jahren mit geringem Befallsdruck ist diese Wirkstoffmenge ausreichend, während in einem Jahr mit hohen Niederschlägen die maximale Aufwandmenge von 3 kg Reinkupfer/ha keine zuverlässige Befallskontrolle ermöglicht. Der Einsatz dieser Präparate ist nicht zuletzt aufgrund der daraus resultierenden Schwermetallbelastung von Lebensmitteln und Boden gesetzlich auf ein Maximum von 3 kg Reinkupfer/ha begrenzt (BBÖ 1998, mündliche Information BBA 2002). Die anstehende Neuregelung des Kupfereinsatzes, welche auch ein gänzlich Anwendungsverbot beinhalten kann, stellt besonders die organische Apfelproduktion vor Probleme. Zur Zeit steht für eine ausreichende Schorfkontrolle kein zuverlässiger Ersatzwirkstoff zur Verfügung, der den Richtlinien der organischen Anbauverbände entspricht. Auch im integrierten Anbau wird weiter nach neuen Wirkstoffen gesucht, um die Wirksamkeit der vorhandenen Präparate durch Ergänzung um neue Wirksubstanzen möglichst lange aufrecht zu erhalten.

SCHMITZ und NOGA (1995, 2000) konnten im Freiland nach mehrmaliger Applikation eines  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates Reduktionen von Apfelschorfsymptomen an Blatt und Frucht um bis zu 70% beobachten. Für verschiedene Wirt-Parasit-Beziehungen wurde der befallsreduzierende Einfluss exogener Zufuhr von Antioxidantien bereits beschrieben. VON GÖNNER und SCHLÖSSER (1992) untersuchten z.B. Veränderungen der Beziehung *Avena sativa* - *Drechslera avenae* als Folge der Behandlung der Pflanzen mit Antioxidantien. LUPU et al. (1980) beschrieben Befallsreduktionen im Wirt-Pathogen-System Tabak (cv. Michal)-Echter Mehltau (*Erysiphe cichoracearum*) nach Applikation des pflanzeigenen Antioxidans ‚Tocopherol‘. In der Literatur

waren keine spezifischen Angaben bezüglich des Wirkungsmechanismus dieses Radikalfängers gegenüber *Venturia inaequalis* zu finden.

Die folgenden Studien sollen den Einfluss des pflanzlichen Antioxidans  $\alpha$ -Tocopherol auf Befallshöhe und Entwicklungszyklus von *Venturia inaequalis* als auch dessen Einsatzmöglichkeiten zur Kontrolle des Apfelschorfs aufzeigen. Aufgrund der Einlagerung von  $\alpha$ -Tocopherol in die pflanzlichen oder pilzlichen Zellmembranen könnten deren Eigenschaften direkt verändert werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass durch die stressreduzierende Wirkung von Antioxidantien indirekt pflanzliche Abwehrmechanismen aktiviert werden.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Pflanzenanzucht

Alle Versuche unter kontrollierten Bedingungen wurden an Sämlingen von *Malus X Domestica* Borkh. var. 'Golden Delicious' durchgeführt. Nach einer mind. dreiwöchigen Stratifikation bei 4°C wurden die Samen in Saatschalen ausgelegt. Sobald die ersten Laubblätter erschienen, konnten die Keimlinge in 9 x 9 cm-Kunststofftöpfe getopft werden. Die Anzucht der Pflanzen erfolgte bei 19°C, 65-70% relativer Luftfeuchte und einem 14/10-stündigen Licht/Dunkelrhythmus. Es wurden keine zusätzlichen Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

### 2.2 Inokulumgewinnung und Inokulation

Befallene Blätter mit sporulierendem Schorfbefall wurden entweder frisch verwendet oder bei -18°C gelagert. Für die Herstellung der Konidien suspension wurden Konidien in Leitungswasser suspendiert und auf die benötigte Inokulumdichte von durchschnittlich 150 000 Sporen ml<sup>-1</sup> eingestellt. Vier- bis fünfblättrige Sämlinge wurden mit einer Konidien suspension mit Hilfe eines Handsprühers inokuliert. Zur Gewährleistung der zur Infektion notwendigen Blattnässedauer wurden die Pflanzen für 48 Stunden bei 100%iger relativer Luftfeuchte gehalten. Für die Befallsentwicklung wurden die Sämlinge bei 19°C, 65-70% relativer Luftfeuchte und 14/10-stündigem Licht/Dunkelrhythmus aufgestellt.

Zur Erfassung der Wirkung der Behandlungen auf Keimfähigkeit und Keimschlauchwachstum von *Venturia inaequalis*-Konidien wurden Platten mit ca. 15 ml Wasseragar gegossen (16%ig). Die Applikation der Behandlungslösungen fand eine Stunde vor dem Beimpfen der Platten mit der Konidien suspension (ca. 100-150 000 Sporen ml<sup>-1</sup>) statt. Anschließend wurden die Platten mit Parafilm verschlossen und für 24 h bei 20°C aufgestellt.

## 2.3 Erfassung der Befallsentwicklung und Konidienbildung

### 2.3.1 Befallsbewertung

Der Schorfbefall wurde 8 bis 12 Tage nach Inokulation makroskopisch anhand der sporulierenden Befallsflächen auf den Blättern bonitiert. Hierzu fanden folgende Schätzklassen Verwendung: 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 % befallene Blattfläche pro Blatt. Durch Verrechnung der ermittelten Befallsdaten wurde der Wirkungsgrad der Behandlungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bestimmt.

### 2.3.2 Ermittlung der Sporulationsrate

Zur Erfassung der Sporulationsrate wurden 10 befallene Blätter pro Variante 14 Tage nach Inokulation getrennt nach Blattober- und -unterseite bonitiert und in 10 ml einer 0,05%igen Tween 20-Lösung kräftig geschüttelt, um ein vollständiges Ablösen aller gebildeten Konidien sicherzustellen. Durch die anschließende Bestimmung der Sporendichte wurde die Gesamtmenge der auf den bonitierten Blättern gebildeten Konidien ermittelt. Die Blattflächen wurden mit Hilfe des CI-202 Area Meter der Fa. CID, Inc. (Camas, USA) bestimmt.

Die Berechnung der Menge gebildeter Konidien pro sporulierender Blattflächeneinheit erfolgte anhand folgender Formel nach ORTEGA et al. (2000):

$$Y = \frac{X \cdot \text{Vol}}{(A_1 \cdot [S_{1,1} + S_{1,2}] + A_2 \cdot [S_{2,1} + S_{2,2}])}$$

Y = Gebildete Konidien pro sporulierender Blattfläche (Konidien·cm<sup>-2</sup>)

X = Konidiendichte in der Waschflüssigkeit der Probenblätter (Konidien·ml<sup>-1</sup>)

Vol = Volumen der Waschflüssigkeit der Probenblätter [ml]

A<sub>i</sub> = Blattfläche in cm<sup>2</sup> der beiden ausgewerteten Blätter

S<sub>i,k</sub> = Schätzwerte des prozentualen Anteils an sporulierender Blattfläche auf den beiden ausgewerteten Apfelblätter, wobei (S<sub>1,1</sub>) und (S<sub>1,2</sub>) jeweils der Schätzwert der adaxialen und der abaxialen Blattseite des unteren und (S<sub>2,1</sub>) und (S<sub>2,2</sub>) die Schätzwerte des oberen Blattes des ausgewerteten Apfelsämlings darstellen.

Anschließend wurde die prozentuale Sporulation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle berechnet.



## 2.4 Wirksubstanzen und Formulierungshilfsstoffe

### 2.4.1 $\alpha$ -Tocopherol

In allen Versuchen wurde  $\alpha$ -Tocopherol, soweit nicht anders angegeben, 0,5%ig verwendet. Da diese Wirksubstanz aufgrund ihrer hohen Lipophilie in Wasser nicht löslich ist, wurden zur Erfassung der Wirkung von  $\alpha$ -Tocopherol gegenüber *Venturia inaequalis* ohne die unterstützenden Formulierungshilfsstoffe Tween 20 (0,1%) oder Nonylphenol 10 (0,01%) als Emulgator zugesetzt.

### 2.4.2 Formulierungen

Die beiden verwendeten Formulierungen unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Bestandteile hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit im organischen Apfelanbau.

Die erste Formulierung des bereits zugelassenen Präparates PLANTACUR E® enthält Benzylalkohol, N-Methylpyrrolidon und ionische sowie nicht ionische Tenside und wurde in einer Konzentration von 0,1 bis 1% verwendet. Aufgrund ihrer synthetischen Bestandteile ist deren Einsatz im organischen Apfelanbau nicht möglich.

Die zweite Formulierung besteht aus vier verschiedenen, organischen Phosphatidylsäuren und wurde 2,5%ig verwendet. Die Bestandteile dieser Leerformulierung entsprechen den Richtlinien der ökologischen Anbauverbände. Im Folgenden wird diese Formulierung als Formulierung 2 und in Kombination mit  $\alpha$ -Tocopherol als  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat bzw. Toc-Präp. bezeichnet.

### 2.4.3 Applikation

Die Sprühapplikation der Behandlungs- und Inokulationslösungen erfolgte mit Hilfe eines Handsprühers bis zum Abfließen der Tropfen von den Apfelblättern. Soweit nicht anders vermerkt, wurden die Behandlungen mindestens zwei Stunden vor der Inokulation appliziert.

## 2.5 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

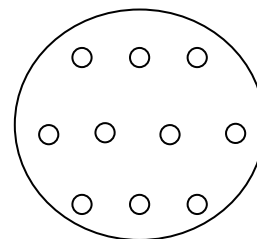
### 2.5.1 Erfassung von Oberflächenveränderungen

Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops XL 30 ESEM der Fa. FEI/PHILIPS (Kassel) konnten die Veränderungen auf der Blattoberfläche sichtbar gemacht werden. Die Untersuchung der unfixierten Blattproben erfolgte 2 bis 24 Stunden nach Applikation von 0,5 µl-Tropfen der Wirkstofflösungen unter Verwendung des ‚Gaseous Secondary Electrons‘ (GSE)-Detektors bei 4°C und max. 1 Torr.

### 2.5.2 Quantifizierung des Ablaufens der Konidiensuspension

Zur Erfassung der nach der Inokulation auf den Blattoberflächen verbleibenden Konidien wurden aus den jüngsten, entfalteten Blättern von behandelten und unbehandelten Sämlingen 24 Stunden nach Inokulation Blattscheiben ausgestanzt. Zur Quantifizierung der Retention der Konidiensuspension wurden unter Zuhilfenahme des an zehn Punkten pro ausgestanzter Blattscheibe (Durchmesser: 0,8 mm) die vorhandenen Konidien bei 200facher Vergrößerung bonitiert. Die Untersuchungen erfolgten im ‚Low-Vacuum‘-Modus bei max. 1 Torr und 4°C unter Verwendung des ‚Gaseous Secondary Electrons‘ (GSE)-Detektors.

Verteilung der Untersuchungsstellen auf der ausgestanzten Blattscheibe behandelte und unbehandelte, inokulierte Blätter



## 2.6 Lichtmikroskopische Untersuchung der Pathogenentwicklung von *Venturia inaequalis*

### 2.6.1 Probenahme und Fixierung

Infektionsstrukturen des Pilzes auf bzw. unterhalb der Cuticula konnten durch eine modifizierte Methode nach ORTEGA (1999) sowie HOOD und SHEW (1996) sichtbar gemacht werden. Vom 2. bis zum 7. Tag nach Inokulation

wurden täglich mit einem Korkbohrer (Durchmesser: 0,8 mm) von mind. drei verschiedenen Pflanzen fünf Blattscheiben pro Variante aus dem zweit- bzw. drittjüngsten Blatt ausgestanzt.

Die Blattscheiben wurden sofort für mind. 48 h in Rollrandgläschen mit 5 ml ECM-Lösung gelegt (99%iges Ethanol + Chloroform + Milchsäure im Verhältnis 6:3:1). Auf diese Weise konnten die Proben gleichzeitig fixiert und entfärbt werden. Durch mehrmaliges Spülen der entfärbten Blattscheiben mit einer auf pH 9 eingestellten 0,067 M  $K_2HPO_4$ -Lösung wurde der pH-Wert des Blattgewebes auf pH 9 eingestellt.

### 2.6.2 Färbetechnik

Zur Färbung mit Anilinblau wurden die Blattscheiben zur Sicherstellung des pH-Wertes 9 der Proben für eine Minute in 1 M Kalilauge (KOH) gelegt. Anschließend erfolgte das Anfärben der Blattscheiben für ca. drei Minuten in der nachfolgend beschriebenen Anilinblau-Färbelösung. Nachdem die gefärbten Blattscheiben mit der Blattoberseite nach oben auf Objektträger montiert und mit einem Deckgläschen abgedeckt wurden, konnten sie fluoreszenzmikroskopisch ausgewertet werden.

Herstellung der Anilinblau-Färbelösung (pH 9):

50 mg	Anilinblau (0,05%)
0,067 M	$K_2HPO_4$ (~1,167g)
100ml	Entionisiertes Wasser

### 2.6.3 Mikroskopie

Für die Beobachtungen der Pathogenentwicklung wurde das Photomikroskop DMRB von LEICA (Wetzlar) verwendet, welches für die fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen mit einem Filterblock des Typs A (BP 340-380 nm, LP 425 nm) ausgestattet war. Eine Videokamera der Fa. SONY sowie das Bildanalysesystem ‚DISCUS‘ der Fa. HILGERS (Königswinter) ermöglichten die Photoaufnahmen und das Ausmessen der Keimschlauchlängen.

## 2.6.4 Auswertung der Pathogenentwicklung von *Venturia inaequalis*

### 2.6.4.1 Keimung und Keimschlauchwachstum

Die **Keimraten** der Konidien von *Venturia inaequalis* wurden mikroskopisch durch Auszählen von 10 x 10 zufällig gewählten Konidien pro Platte bei mind. 2 Platten pro Variante bestimmt. Auf den Blattscheiben wurde die Keimfähigkeit der Konidien durch Auszählen von mind. 3 x 10 Konidien pro Blattscheibe bei fünf Blattscheiben pro Variante ermittelt. Als gekeimt galten Konidien, deren Keimschlauchlänge mindestens der Konidienbreite entsprach.

Unter Verwendung des unter 5.2.2 beschriebenen Plattentests wurde das **Keimschlauchwachstum** 24 Stunden nach Inokulation durch Ausmessen von mind. 50 Keimschläuchen pro Variante (bei mind. zwei Platten pro Variante) mikroskopisch bestimmt. Auf der Blattoberfläche wurden die Keimschlauchlängen von 20 gekeimten Konidien je Blattscheibe sowie der Anteil deformierter Keimschläuche erst zwei Tage nach der Inokulation erfasst, um den Erhalt der zur Infektion notwendige Blattfeuchtedauer für 48 Stunden sicherzustellen. Pro Blattscheibe wurden 20 zufällig ausgewählte Keimschläuche auf fünf Blattscheiben pro Variante ausgemessen.

### 2.6.4.2 Appressorienbildung

Am zweiten bis dritten Tag nach der Inokulation wurde die Anzahl gebildeter Appressorien durch Bonitur von 20 Konidien pro Blattscheibe und fünf Blattscheiben pro Variante ermittelt.

### 2.6.4.3 Entwicklung von *Venturia inaequalis* in Apfelblättern

Die Entwicklung von *Venturia inaequalis* wurde an 20 zufällig ausgewählten Konidien bzw. Infektionsstellen pro Blattscheibe unter Verwendung des folgenden Boniturschemas nach ORTEGA (1999) bestimmt:

<b>Boniturklasse</b>	<b>Entwicklungsstadium der Konidien von <i>Venturia inaequalis</i></b>
0	Konidien mit Keimschlauchbildung ohne Appressorien
1	Konidien mit Appressorienbildung ohne weitere Penetration
2	Gut entwickeltes und strukturiertes 'Primäres Stroma' mit mind. doppelter Fläche des Appressoriums
3	Penetrationsstellen mit Laufhyphendifferenzierung; Laufhyphen kleiner als 250 µm
4	Laufhyphen mit einer Länge zwischen 250 und 600 µm
5	Laufhyphen länger als 600 µm ohne ausgeprägte Bildung von parallelen Strängen ('Sekundäres Stroma')
6	Laufhyphen verschiedener Infektionsstrukturen, verwachsen zu den charakteristischen 'Sekundären Stroma'-Strukturen mit mehreren parallelen Hyphensträngen
7	Sporulierende Befallsstellen

## 2.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms der Fa. SPSS GmbH Software, Version 10.0 (München). Die Signifikanzen zwischen den behandelten und nicht behandelten Varianten eines Versuches wurden mit Hilfe multipler Mittelwertsvergleiche (Grenzdifferenztest nach 'Tukey' bzw. 'Scheffé') ermittelt (KÖHLER et al. 1994). Vor jeder Varianzanalyse wurden die Daten unter Zuhilfenahme des Levene-Tests auf Homoeskadität und mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests auf Normalverteilung getestet. Bei allen Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $P \leq 0,05$  festgelegt.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Wirkung von $\alpha$ -Tocopherol-Präparaten auf die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis*

##### 3.1.1 Wirksamkeit verschiedener $\alpha$ -Tocopherol-Präparate

Nach protektiver Applikation von PLANTACUR E® waren Befallsreduktionen des Apfelschorfs von 20 bis 50% zu beobachten. Die höchste Wirksamkeit dieses Präparates wurde nach Behandlung der Pflanzen zwei Stunden vor Inokulation erreicht. Die befallsreduzierende Wirkung nahm mit zunehmendem zeitlichen Abstand zwischen protektiver Behandlung und Inokulation ab (Abb.1).

Das  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat mit Formulierung 2 zeigte eine gegenüber PLANTACUR E® gesteigerte Wirksamkeit. Der Blattschorfbefall, bonitiert 17 Tage nach Inokulation, wurde durch die protektive Applikation dieses Präparates im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um durchschnittlich 75% reduziert. Die Wirksamkeit des zweiten  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates zeigte sich im Gegensatz zu PLANTACUR E® unabhängig vom zeitlichen Abstand zwischen protektiver Behandlung und Inokulation. Zur Entwicklung der befallsmindernden Wirkung der beiden  $\alpha$ -Tocopherol-Präparate war kein Induktionsintervall nötig, wie es für Induzierte Resistenz beschrieben wird (Abb. 1).

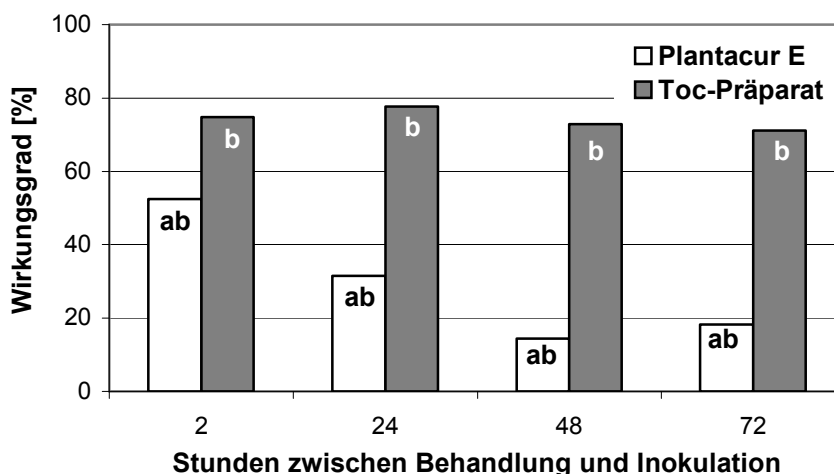


Abb. 1: Wirksamkeit der  $\alpha$ -Tocopherol-Präparate gegenüber *Venturia inaequalis* an Apfelsämlingen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 17 Tage nach Inokulation (Wirkungsgrad, Tukey-Test,  $p = 0,05$ )

### 3.1.2 Einfluss der $\alpha$ -Tocopherol-Konzentration auf die Wirksamkeit

Zur Bestimmung der optimalen Dosierung des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates wurden folgende  $\alpha$ -Tocopherol-Gehalte untersucht: 0,01%, 0,05%, 0,1%, 0,25%, 0,5%. Die Applikation der Behandlungslösungen fand zwei Stunden vor Inokulation der Pflanzen statt. Ca. 10 bis 14 Tage nach der Inokulation erfolgte die erste Befallsbewertung.

Die wirkungsvollste  $\alpha$ -Tocopherol-Konzentration des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates lag zwischen 0,1 bis 0,3% Tocopherol (Abb. 2).

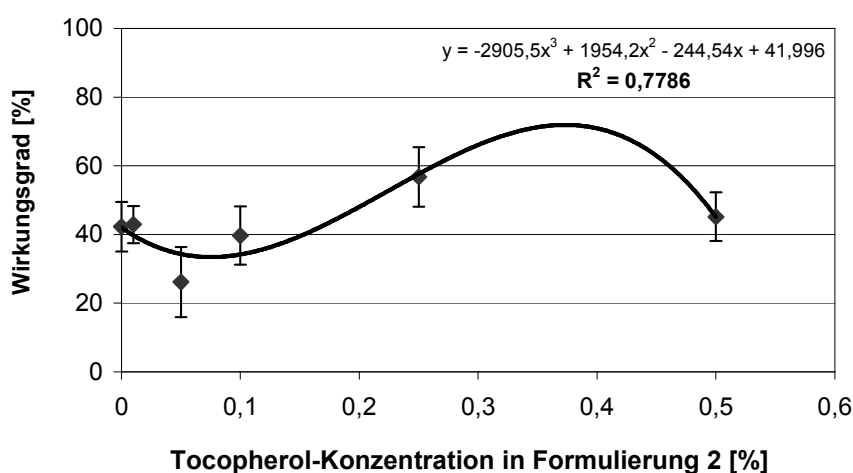


Abb. 2: Einfluss der  $\alpha$ -Tocopherol-Konzentration auf die Wirksamkeit des Tocopherol-Präparates gegenüber *Venturia inaequalis* im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 18 Tage nach Inokulation (befallene Blattfläche, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , polynomische Regression 3. Grades)

Bei der Verwendung von 0,1%iger Tween 20-Lösung zur Lösung des  $\alpha$ -Tocopherols im Vergleich zum Tocopherol-Präparat zeigte sich eine Abhängigkeit der optimalen  $\alpha$ -Tocopherol-Konzentration von der Formulierung (Abb. 2 u. 3). Im Gegensatz zu den in Abb. 2 dargestellten Ergebnissen lag die wirkungsvollste Konzentration der Tween-Variante bei 0,5%  $\alpha$ -Tocopherol. Niedrigere Konzentrationen förderten unter Umständen die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis*, zeigten aber in jedem Fall keinen reduzierten Befall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Konzentrationen  $> 0,5\%$   $\alpha$ -Tocopherol konnten aufgrund der hohen Lipophilie des Wirkstoffs mit den verwendeten Formulierungshilfsstoffen nicht emulgiert werden, weshalb keine höheren Aufwandmengen untersucht werden konnten (Abb. 3).

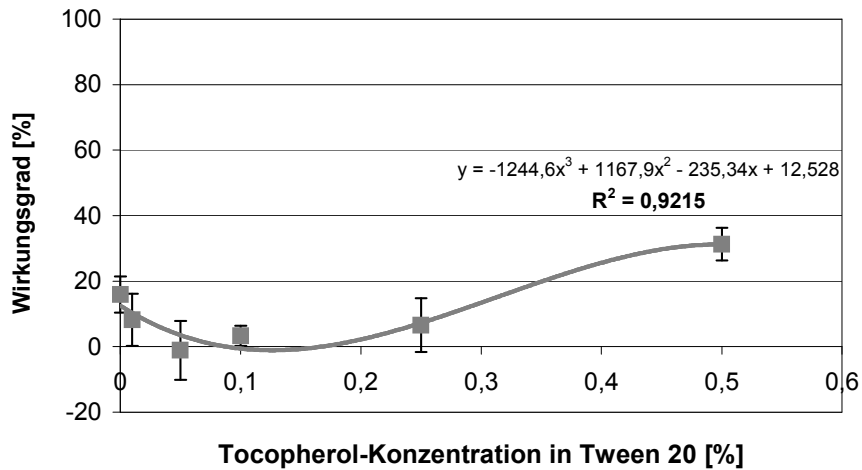


Abb. 3: Einfluss der Konzentration auf die Wirksamkeit von  $\alpha$ -Tocopherol gegenüber *Venturia inaequalis* im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 18 Tage nach Inokulation (befallene Blattfläche, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , polynomische Regression 3. Grades)

### 3.1.3 Wirksamkeit von $\alpha$ -Tocopherol

Die Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol ohne Formulierungszusätze verminderte die Blattbefallsentwicklung des Apfelschorfs unter kontrollierten Bedingungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um ca. 30% (Abb. 4).

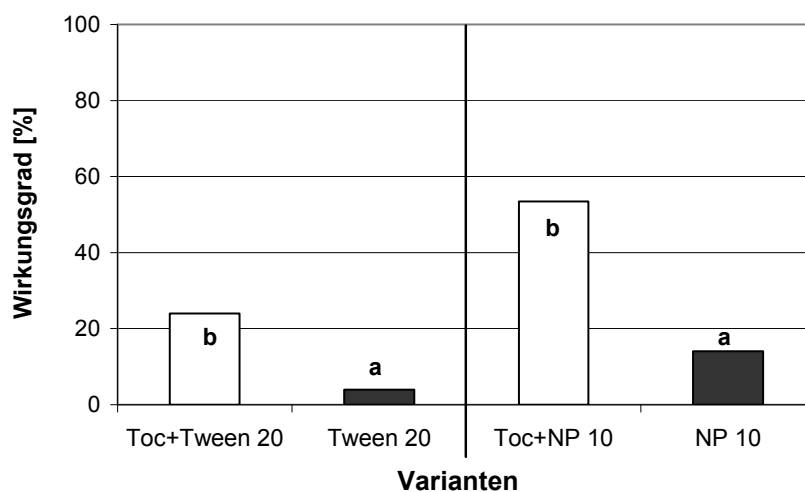


Abb. 4: Wirksamkeit von  $\alpha$ -Tocopherol gegenüber *Venturia inaequalis* im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 15 bzw. 17 Tage nach Inokulation (Tocopherol emulgiert mit 0,1%iger Tween 20-Lösung bzw. 0,01%iger NP 10-Lösung, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )



### 3.1.4 Wirksamkeit der lecithinhaltigen Formulierung

Die Minderung des Blattbefalles der Apfelsämlinge mit *Venturia inaequalis* konnte durch Verwendung der Formulierung 2 deutlich gesteigert werden, wie unter 3.1.1 dargestellt. Diese Formulierungshilfsstoffe konnten auch ohne Zugabe von  $\alpha$ -Tocopherol den Apfelschorf-Befall unter kontrollierten Bedingungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich reduzieren, so dass die unter 3.1.4 beschriebene Wirkung von  $\alpha$ -Tocopherol von der Formulierung 2 überdeckt wurde (Abb. 5).

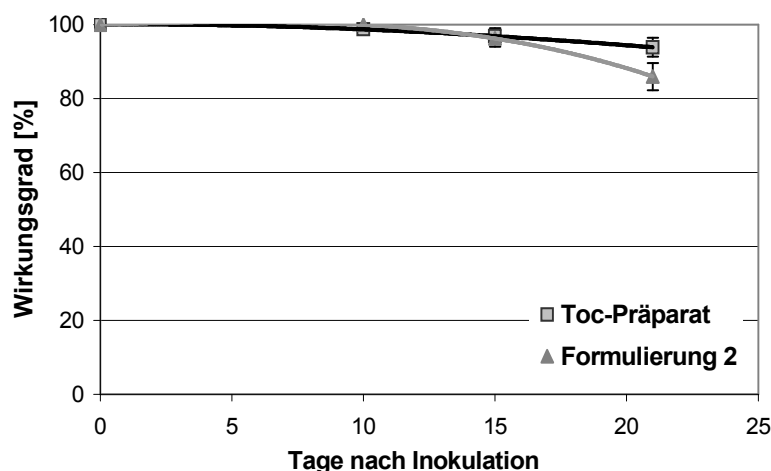


Abb. 5: Wirksamkeit der lecithinhaltigen Formulierung gegenüber *Venturia inaequalis* an Apfelsämlingen im Vergleich zum  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat und zur unbehandelten Kontrolle (Wirkungsgrad, Standardfehler bei  $p = 0,05$ )

## 3.2 Oberflächenveränderungen als Folge der Applikation von $\alpha$ -Tocopherol

### 3.2.1 Modifikationen der Blattoberflächen durch $\alpha$ -Tocopherol

Nach Applikation der  $\alpha$ -Tocopherol-Lösungen entstand ein makroskopisch sichtbarer, glänzender Belag auf der Blattoberfläche. Wurden die Pflanzen nur mit  $\alpha$ -Tocopherol, unter Zugabe von Tween 20, behandelt, so waren diese Veränderungen punktuell, während nach Applikation des Präparates sowie der Formulierung 2 die gesamte Blattoberfläche glänzte (Abb. 6). Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops wurden die Spritzbeläge, welche die typischen Wachsstrukturen der Blattoberfläche von Apfelsämlingen überdeckten, sichtbar (Abb. 7). Die Anlagerung des  $\alpha$ -Tocopherols war in den Vertiefungen der Blattoberfläche besonders intensiv und reflektierte die Elektronen

sehr stark, so dass diese Stellen auf den Bildern weiß erscheinen (Abb. 7b, 7c u. 7d). Nach Applikation von Tween 20-Lösung fehlte diese intensive Reflexion des Spritzbelages vollständig (Abb. 7e).

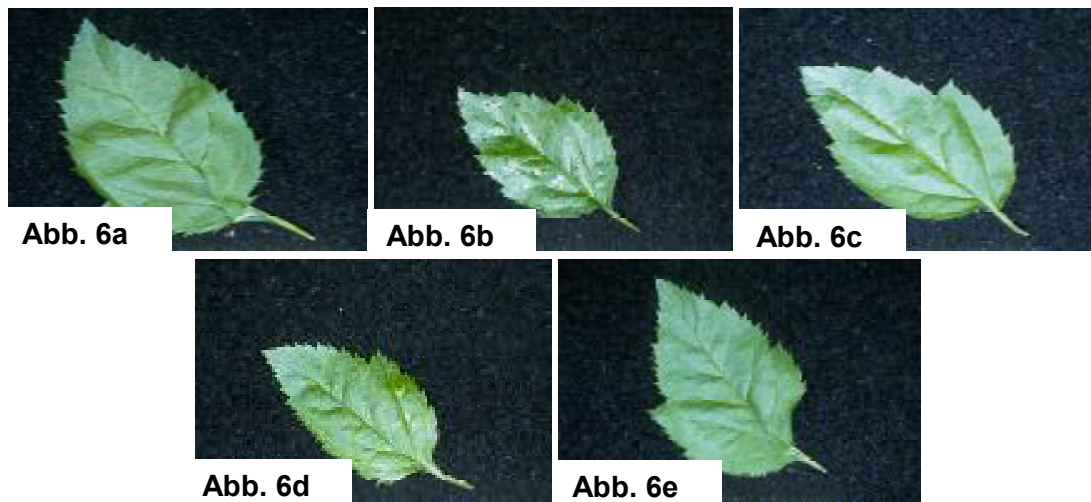


Abb. 6: Oberflächenveränderungen als Folge der Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol  
 a) Unbehandeltes Blatt  
 b) Behandlung mit dem Tocopherol-Präparat  
 c) Behandlung mit der Formulierung 2  
 d) Behandlung mit Tocopherol+Tween 20  
 e) Behandlung mit Tween 20

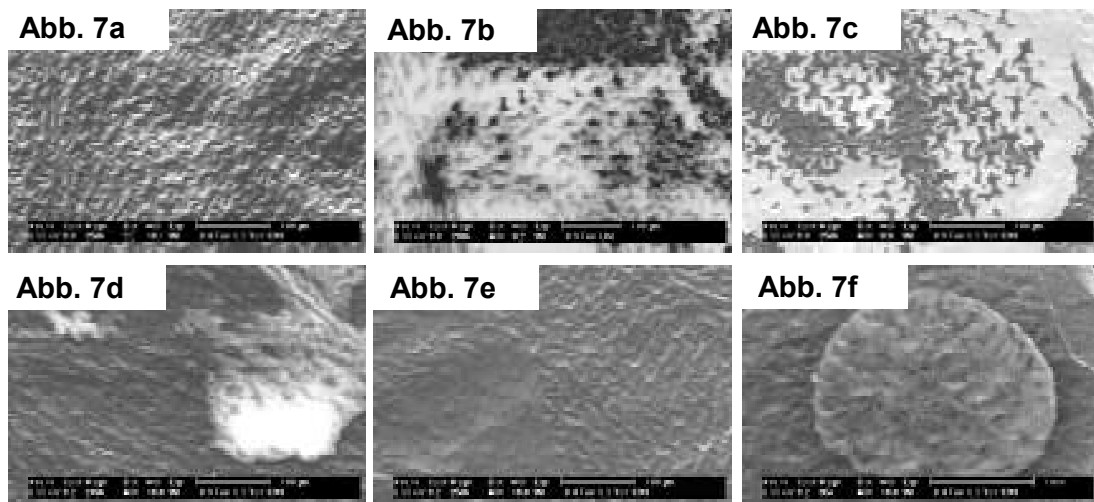


Abb. 7: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen un behandelter und behandelte Blattoberflächen zur Darstellung von Oberflächenveränderungen als Folge der Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol (250fache Vergrößerung)

- a) Unbehandelte Blattoberfläche
- b) Behandlung mit dem Tocopherol-Präparat
- c) Behandlung mit der Formulierung 2
- d) Behandlung mit Tocopherol+Tween 20
- e) Behandlung mit Tween 20
- f) Behandlung mit dem Tocopherol-Präparat (punktuelle Applikation, 35fache Vergrößerung)

### 3.2.2 Retention der Konidiensuspension nach $\alpha$ -Tocopherol-Applikation

Bei der Applikation der Konidiensuspension während der Inokulation wurde im Gegensatz zur Kontrolle bei den mit dem Tocopherol-Präparat sowie der Formulierung 2 behandelten Pflanzen keine Tropfenbildung beobachtet (Abb. 8).



Abb. 8: Veränderungen der Retention der Konidiensuspension nach der Inokulation als Folge der Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol  
a) Unbehandelte Pflanzen  
b) Behandlung mit dem Tocopherol-Präparat  
c) Behandlung mit der Formulierung 2

Als Folge aller Behandlungen wurden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 24 Stunden nach der Inokulation deutlich weniger Konidien von *Venturia inaequalis* auf der Blattoberfläche der inokulierten Apfelsämlinge gefunden. Auf Sämlingsblättern, welche mit dem Tocopherol-Präparat oder der Formulierung behandelt wurden, konnten nur noch 10% der Konidien nachgewiesen werden, welche auf den unbehandelten Pflanzen zu finden waren. Durch die Applikation von Tween 20 mit und ohne  $\alpha$ -Tocopherol wurde die Anzahl der Konidien im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um mehr als 40% reduziert (Abb. 9).

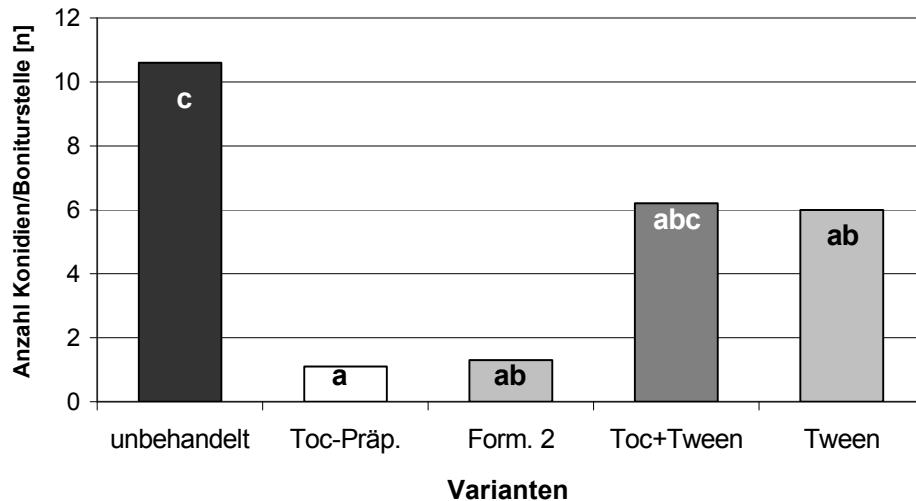


Abb. 9: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf die Anzahl der Konidien von *Venturia inaequalis* auf der Blattoberfläche 24 Stunden nach Inokulation (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Rasterelektronenmikroskopie, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.3 Infektionsverlauf von *Venturia inaequalis* nach Behandlung mit $\alpha$ -Tocopherol

Mit Hilfe fluoreszenzmikroskopischer Methoden konnten die epicuticulären Infektionsstadien von *Venturia inaequalis* sowie die weitere typische subcuticuläre Entwicklung beobachtet werden.

#### 3.3.1 Keimung und Keimschlauchwachstum

Die Keimfähigkeit der Konidien bzw. deren Keimrate wurde weder auf Wasseragar-Platten noch auf der Blattoberfläche durch  $\alpha$ -Tocopherol beeinflusst (Tab. 1, Abb. 10).

Tween 20 sowie die Bestandteile der Formulierung 2 förderten auf dem Medium das Längenwachstum der Keimschläuche im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Als Folge des Zusatzes von 0,5%  $\alpha$ -Tocopherol konnte die vorgenannte Wirkung der Formulierungshilfsstoffe aufgehoben werden. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle wurde für die Tocopherol-Varianten kein Unterschied festgestellt (Tab. 1).

Tab. 1: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf Keimung und Keimschlauchwachstum von *Venturia inaequalis*-Konidien im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 24 Stunden nach Beimpfung der Platten (Versuch auf Wasseragar-Platten)

<b>Variante</b>	<b>Keimrate [%]</b>	<b>Keimschlauchlänge [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
unbehandelte Kontrolle	83 (a)	186,6 (ab)
$\alpha$ -Tocopherol-Präparat	86 (a)	173,7 (ab)
Formulierung 2	83 (a)	255,3 (c)
$\alpha$ -Tocopherol + Tween 20	90 (a)	163,8 (a)
Tween 20	87 (a)	201,4 (b)

Auf den Blattoberflächen waren von den Resultaten der Studien auf Agarplatten abweichende Veränderungen des Keimschlauchwachstums als Folge der protektiven Behandlungen zu beobachten. Auch auf der Blattoberfläche verdoppelte die Formulierung 2 das Keimschlauchlängenwachstum im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Untersuchungen auf Agarplatten wurde diese Wirkung durch die Zugabe von  $\alpha$ -Tocopherol nicht aufgehoben. Es konnte kein Unterschied zwischen  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat und Formulierung 2 beobachtet werden. Die Applikation 0,1%iger Tween 20-Lösung hatte keinen Einfluss auf das Längenwachstum der Keimschläuche auf der Blattoberfläche. Dies wurde durch die Zugabe von  $\alpha$ -Tocopherol nicht verändert. Als Folge exogener  $\alpha$ -Tocopherol/Tween 20-Applikation konnten auf der Blattoberfläche keine Veränderungen des Keimschlauchlängenwachstums von *Venturia inaequalis*-Konidien beobachtet werden (Abb. 10).

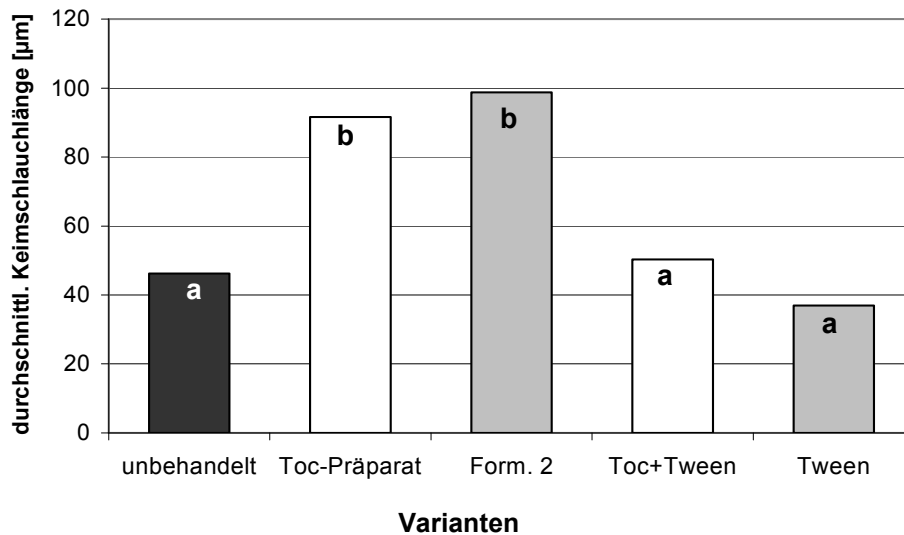


Abb. 10: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf das Längenwachstum der Keimschläuche von *Venturia inaequalis*-Konidien **auf der Blattoberfläche** drei Tage nach der Inokulation (Sämlinge der Sorte ‚Golden Delicious‘, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Zusätzlich zum Längenwachstum wurde auf der Blattoberfläche der Habitus von Keimschläuchen der Konidien bonitiert bzw. der Anteil deformierter Keimschläuche erfasst. Als deformiert wurden Keimschläuche bezeichnet, welche verzweigt, verdreht und/oder in ihrer Fluoreszenz deutlich verändert waren (Abb. 11). Durch exogene Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol wurde der Anteil deformierter Keimschläuche vier Tage nach Inokulation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zur Behandlung der Sämlinge mit Tween 20 signifikant erhöht. Diese Beobachtung deutete eine direkte Wirkung des Wirkstoffes  $\alpha$ -Tocopherol auf die Bildung der Keimschläuche an, die während des Plattentests nicht bonitiert werden konnte. Besonders deutlich wurde der Anteil deformierter Keimschläuche durch Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates sowie der Formulierung 2 im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erhöht. Nur wenige Keimschläuche blieben unbeeinflusst und waren weder stark verzweigt noch anderweitig deformiert (Abb. 11 u. 12).



Abb. 11a



Abb. 11b



Abb. 11c



Abb. 11d

Abb. 11: Deformierte Keimschläuche von *Venturia inaequalis*-Konidien drei Tage nach Inokulation als Folge von  $\alpha$ -Tocopherol (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

- a) Unbehandelte Blattoberfläche
- b) Unbehandelte Blattoberfläche
- c) Behandelte Blattoberfläche
- d) Behandelte Blattoberfläche

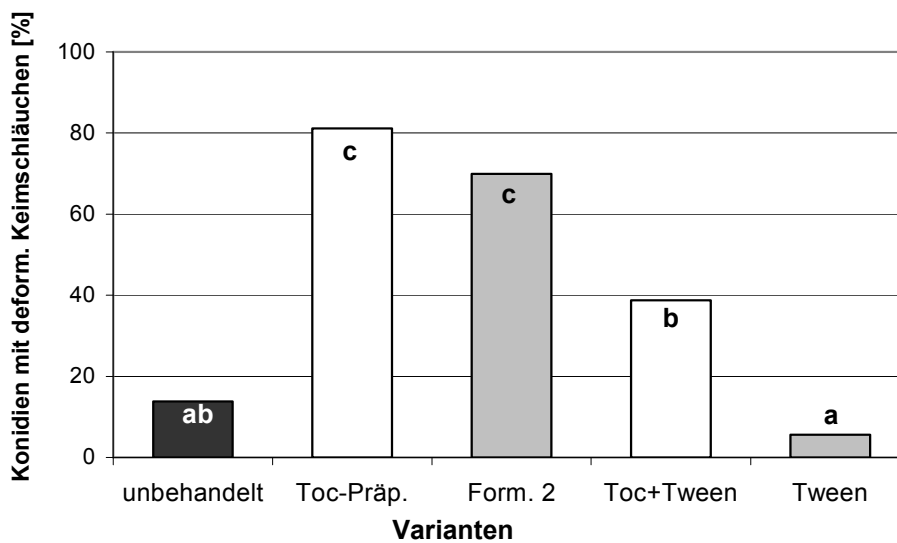


Abb. 12: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf den Anteil deformierter Keimschläuche von *Venturia inaequalis*-Konidien drei Tage nach Inokulation (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

### 3.3.2 Appressorien- und Primärstromabildung

Die Anzahl der Konidien, welche Appressorien ausbilden, wurde zwei Tage nach Inokulation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und Tween 20-Kontrolle durch die  $\alpha$ -Tocopherol-Behandlung reduziert (Abb. 13). Das Ausmaß dieser Reduktion entspricht mit 30% den Befallsminderungen, welche nach Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol, emulgiert mit Tween 20 bzw. NP 10, beobachtet werden konnte (Abb. 4). Sowohl die Applikation des Tocopherol-Präparates als auch der Formulierung 2 verringerten die Bildung von Appressorien sehr deutlich (Abb. 13).

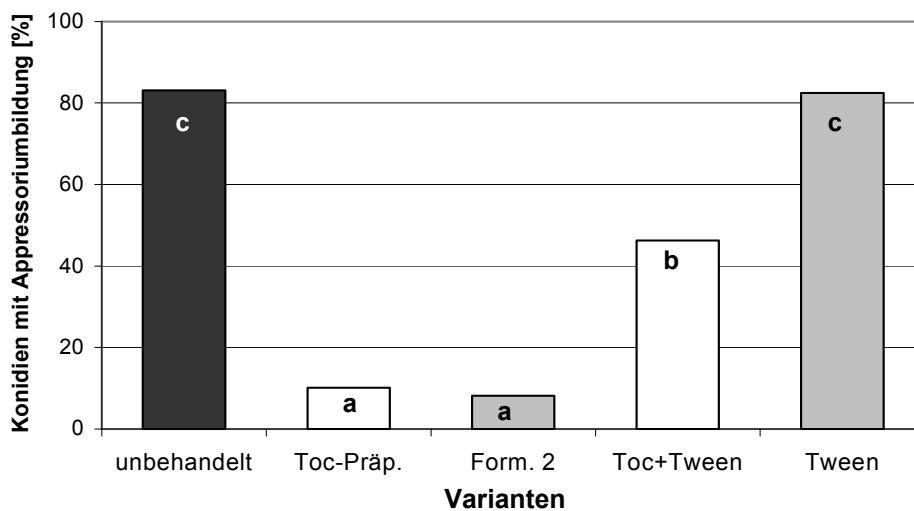


Abb. 13: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf den Anteil von *Venturia inaequalis*-Konidien mit Appressorien im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle drei Tage nach Inokulation (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Tukey-Test bei  $p = 0,05$ )

Die Primärstromabildung wurde drei Tage nach Inokulation sowohl durch  $\alpha$ -Tocopherol, das  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat als auch durch die Formulierung 2 im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zur Tween 20-Variante verringert. Demnach konnten bei behandelten Pflanzen deutlich weniger Konidien das Blattgewebe erfolgreich infizieren (Abb. 14).



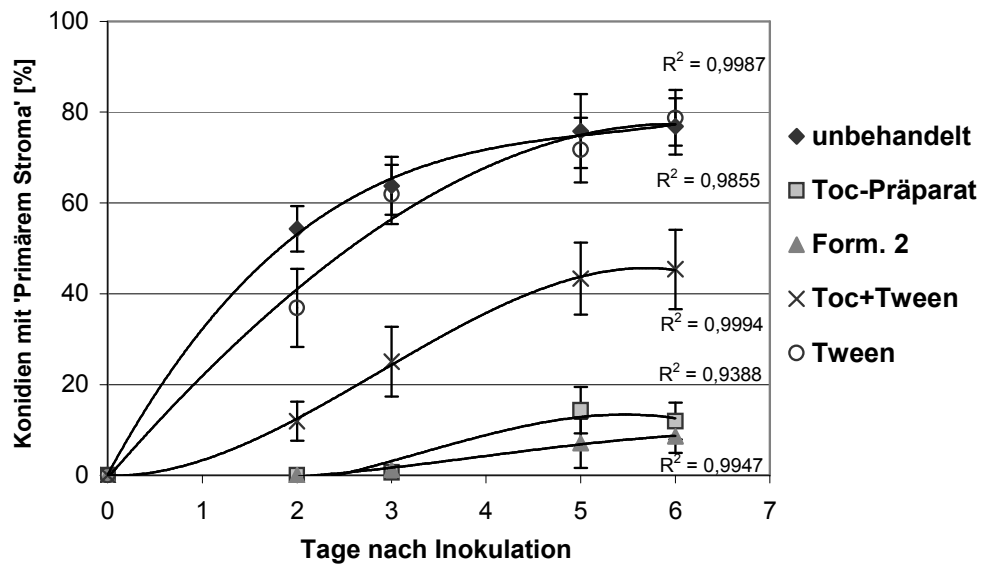


Abb. 14: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf die Bildung von Infektionsstellen mit Primärstromabildung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , polynomische Regression 3. Grades)

### 3.3.3 Besiedelung und Sporulation

Eine mögliche Beeinflussung der subcuticulären Entwicklung von *Venturia inaequalis* in Sämlingsblättern konnte fluoreszenzmikroskopisch unter Verwendung der unter 5.2.5.4.3 beschriebenen Boniturklassen durchgeführt werden. Die Gesamtanzahl von Infektionsstellen mit Laufhyphendifferenzierung war als Folge der verminderten Anzahl erfolgreicher Infektionsstellen mit Primärstromabildung sowie der Zunahme gescheiterter Infektionsstellen durch die Tocopherol-Applikation deutlich reduziert (Abb. 15).

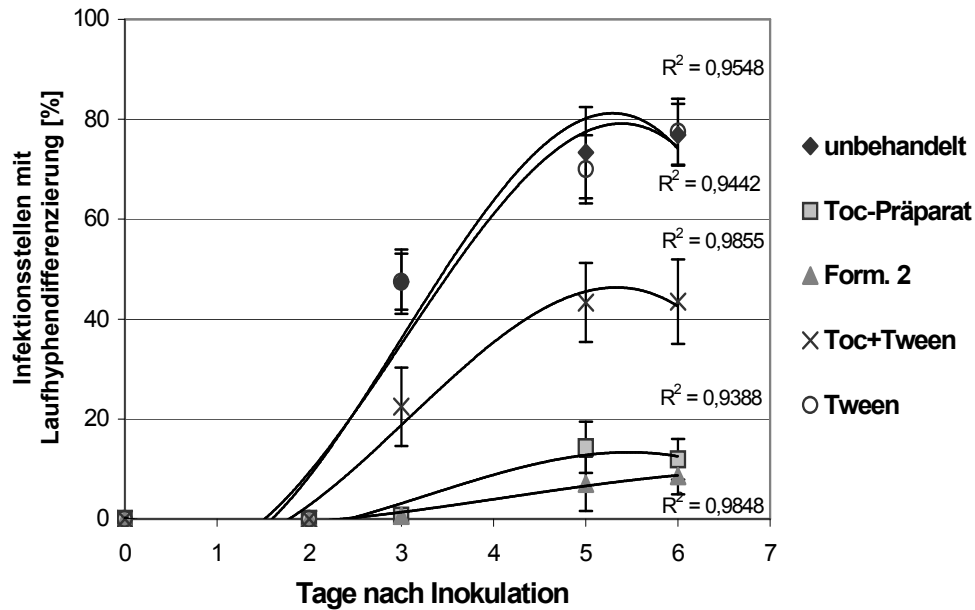


Abb. 15: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf die Laufhyphendifferenzierung von *Venturia inaequalis* (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, Standardfehler bei  $p = 0,05$ , polynomische Regression 3. Grades)

Nach Verrechnung des Anteils der einzelnen Boniturklassen an allen erfolgreichen Infektionsstellen konnte eine Verzögerung der subcuticulären Entwicklung durch die  $\alpha$ -Tocopherol-Applikation um ein bis zwei Tage festgestellt werden. Als Folge der Behandlung von Sämlingen mit der Formulierung 2 war sechs Tage nach Inokulation eine vollständige Unterdrückung der Sekundärstromabildung zu beobachten (Abb. 16).

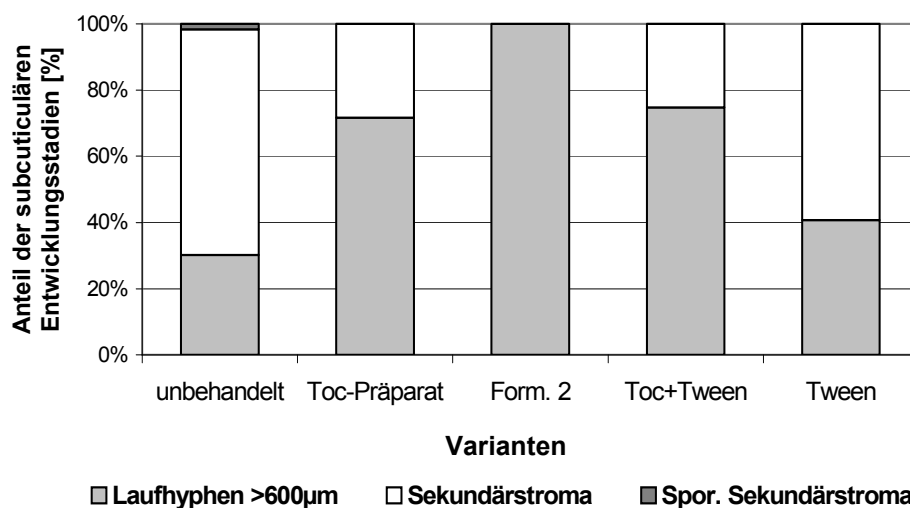


Abb. 16: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf die subcuticuläre Entwicklung von *V. inaequalis* (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, 6 Tage nach Inokulation)

Die Sporulationsrate, d.h. die Menge gebildeter Konidien pro cm<sup>2</sup> befallener Blattfläche, wurde durch exogene Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zur Nonylphenol 10-Variante um 80 bzw. 50% reduziert. Die Formulierung 2 minderte die Bildung von Konidien/cm<sup>2</sup> befallener Blattfläche deutlich im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Tab. 2).

Tab. 2: Einfluss von  $\alpha$ -Tocopherol auf die Sporulationsrate von *Venturia inaequalis* (Sämlinge von ‚Golden Delicious‘, 14 Tage nach Inokulation, Tukey-Test bei p = 0,05)

<b>Variante</b>	<b>Konidien/cm<sup>2</sup> befallene Blattfläche [%]</b>
unbehandelte Kontrolle	100 % (b)
$\alpha$ -Tocopherol-Präparat	39 % (a)
Formulierung 2	26 % (a)
$\alpha$ -Tocopherol + Nonylphenol 10	30 % (a)
Nonylphenol 10	86 % (b)

## 4 DISKUSSION

Die Richtlinien der ökologischen Anbauverbände untersagen den Einsatz synthetischer Fungizide, so dass eine ausreichende und zuverlässige Kontrolle des Apfelschorfs ohne Kupferapplikationen deutlich erschwert wird. Aufgrund des Anwendungsverbotes für Kupferpräparate in den Niederlanden seit dem Jahr 2000 wurden dort verschiedene Studien zum Einsatz von Schwefel bei der Kontrolle von *Venturia inaequalis* veröffentlicht (HOLB u. HEIJNE 2001, JONG et al. 2002). Der Ersatz von Kupfer durch verstärkten Schwefelesatz stellt aber keine dauerhafte und zuverlässige Lösung dar. Das Auftreten von Fungizidresistenzen und der Zusammenbruch der Vf-Resistenz verschiedener schorfresistenter Apfelsorten macht auch in der konventionellen Apfelproduktion die Suche nach Ersatz- bzw. Ergänzungswirkstoffen zur Kontrolle des Apfelschorfs erforderlich, um die vorhandenen Fungizide in ihrer Wirkung zu unterstützen (KÖLLER 1994, BÜTTNER et al. 1999, BÉNAOUF u. PARISI 2000, GULLINO et al. 2000).

Die Studien von SCHMITZ und NOGA (1995, 2000) zur Reduktion des Befalls von *Venturia inaequalis* durch Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates PLANTACUR E® wurden durch die eigenen Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen an Apfelsämlingen bestätigt. In der Literatur wird die Wirksamkeit dieses Präparates kontrovers diskutiert. Während SCHMITZ und NOGA (1995), NOGA und SCHMITZ (2000) sowie STRAUB (1995) positive Erfahrungen bezüglich der befallsmindernden Wirkung beschreiben, konnten BERTSCHINGER und STADLER (1997) keine signifikante Befallsreduktion beobachten.

Die Formulierung von PLANTACUR E® entspricht nicht den Zulassungsanforderungen für Präparate zur Anwendung im organischen Apfelanbau. Aus diesem Grund wurden die synthetischen Tenside des Präparates PLANTACUR E® für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Versuche durch pflanzliche Komponenten, wie z.B. Lecithin, ersetzt. Dieses neue  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat reduzierte den Blattbefall von *Venturia inaequalis* bei protektiver Applikation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um bis zu 80%. Der Wirkungsgrad des pflanzeigenen Antioxidans  $\alpha$ -Tocopherol ohne Unterstützung der Formulierungshilfsstoffe betrug 30% im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Demzufolge weist die Formulierung aus Phosphatidylsäuren eine sehr hohe Eigenwirkung oder synergistische Effekte auf. Die fungizide Wirkung des Lecithins, eines Bestandteils des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates, ist bereits bekannt und wird im Bereich der Kontrolle Echter Mehltäupilze und

des Tabakmosaikvirus an verschiedenen Wirten eingesetzt. Der Bekämpfungserfolg war unterschiedlich: Die Ausprägung von Virussymptomen an Gurken wurde um 85% reduziert (FRIED 1993). Die Ergebnisse von SCHUSTER et al. (1995), die keine zuverlässige Wirkung beschreiben, widersprechen den Beobachtungen von NORTHOVER und SCHNEIDER (1993), die unter kontrollierten Bedingungen nach Applikation von Sojabohnenöl Reduktionen des *Podosphaera leucotricha*-Befalls von bis zu 99% feststellten. Diese Studien konnten aber keine deutliche Wirksamkeit der Substanz gegen *Venturia inaequalis*-Befall nachweisen. BOSSHARD und SCHÜEPP (1994) beobachteten dagegen unter kontrollierten Bedingungen nach Applikation von Lecithin deutliche Befallsreduktionen des Apfelschorfs. Bei der Übertragung dieser Versuche ins Freiland konnten die positiven Effekte aber nicht bestätigt werden. Diese reduzierte Wirksamkeit führen die Autoren auf eine geringe Regenfestigkeit des Präparates zurück. Durch bisher noch nicht veröffentlichte Untersuchungen zur Regenfestigkeit von SCHMITZ-EIBERGER konnte diese Annahme widerlegt werden. Der Spritzbelag des neuen  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates hat sich als sehr regenbeständig herausgestellt (SCHMITZ-EIBERGER, persönliche Mitteilung).

Zur Entwicklung der Wirksamkeit des neuen, den Anforderungen des organischen Anbaus entsprechenden  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates war kein Induktionsintervall zwischen Behandlung und Inokulation nötig. Wurde PLANTACUR E® eingesetzt, so erwies sich die Behandlung zwei Stunden vor Inokulation als die wirkungsvollste. Diese Beobachtungen sprechen gegen das Auftreten ‚Induzierter Resistenz‘ als Folge der exogenen Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol bzw. der  $\alpha$ -Tocopherol-Präparate. Das System der Induzierten Resistenz beruht auf einer Aktivierung pflanzeigener Abwehrmechanismen. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit eines Zeitintervalls zwischen der Anwendung des aktivierenden Agens und der Inokulation des Pathogens. Die Pflanzen verwenden diesen Zeitraum zur Ausbildung der induzierten Abwehrmechanismen (SCHÖNBECK et al. 1993, KESSMANN et al. 1994, STICHER et al. 1997, ORTEGA 1999).

Als Folge der Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates konnte keine Beeinflussung der Sporenkeimung beobachtet werden. Nachfolgende Entwicklungsstadien auf der Blattoberfläche, wie Keimschlauchentwicklung und Bildung von Appressorien, wurden aber verändert. Der Infektionserfolg der Konidien von *Venturia inaequalis* wurde verringert und als Folge dessen die subcuticuläre Ausbreitung des Erregers eingeschränkt. Weder bei Resistenzinduktion noch bei Alters- oder genetischer Resistenz wird die Penetration des Erregers durch die Cuticula beeinflusst (VALSANGIACOMO u.

des Erregers durch die Cuticula beeinflusst (VALSANGIACOMO u. GESSLER 1988, MACHARDY 1996, ORTEGA et al. 1998). Die ersten Stadien des Infektionszykluses von *Venturia inaequalis*, d.h. Sporenkeimung, Keimschlauchwachstum, Appressorienbildung und Penetration der Cuticula, wurden durch das Auftreten ‚Induzierter Resistenz‘ nicht verändert. Als Folge der Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates konnten dagegen negative Einflüsse auf die epicuticulären Infektionsstadien des Apfelschorfs und Reduktionen des Anteils erfolgreicher Infektionsstellen beobachtet werden, weshalb Resistenzinduktion als Wirkungsmechanismus nicht herangezogen werden kann.

Durch Veränderungen der Blattoberfläche als Folge der Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates und der neuen Formulierung verblieben nach der Inokulation nur etwa 10% der Konidien auf den Sämlingsblättern. Vermutlich wurden die hydrophoben Eigenschaften der Cuticula verringert, so dass anstelle der Tropfen, welche auf unbehandelten Blättern nach dem Aufsprühen der Inokulationssuspension zurückblieben, auf behandelten Blättern ein dünner Film entstand. So liefen mehr Konidien ab, und der dünne Flüssigkeitsfilm trocknete schneller an, wodurch die Blattnässedauer verkürzt wurde. Den wenigen verbliebenen Konidien stand demnach eine kürzere Zeit für Keimung, Ausbildung von Appressorien und Penetration der Cuticula zur Verfügung, da für diese Entwicklungsstadien eine ausreichende Blattnässedauer Grundvoraussetzung ist. Die notwendige minimale Dauer der Blattnässe ist temperaturabhängig. Bei 18°C bis 20°C benötigen Konidien für eine erfolgreiche Infektion mindestens sieben Stunden nasse Blattoberflächen. Durch die schnellere Abtrocknung der Inokulationssuspension auf den behandelten Pflanzen wurde dieser Zeitraum teilweise unterschritten, wodurch weniger Konidien die Cuticula erfolgreich penetrieren konnten, und die Primärstromabildung deutlich reduziert wurde (MACHARDY 1996, HARTMANN et al. 1999). Bei *Venturia inaequalis* besteht eine positive Korrelation zwischen der Inokulumdichte und der Befallsintensität, so dass durch die reduzierte Anzahl der auf der Blattoberfläche verbliebenen Konidien und den geringeren Penetrationserfolg dieser Sporen die Befallsintensität der mit  $\alpha$ -Tocopherol behandelten Pflanzen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle deutlich verringert wurde (HOFFMANN et al. 1994, HARTMANN et al. 1999). Die beschriebene Reduktion der auf der Blattoberfläche behandelte Sämlinge verbliebenen Konidien stellt deshalb, den Ergebnissen der dargestellten Untersuchungen zufolge, die Hauptursache der Befallsreduktionen von *Venturia inaequalis* durch die Applikation des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates und der ökologisch unbedenklicheren Formulierung dar.

$\alpha$ -Tocopherol aber auch Phosphatidylsäuren bzw. Phospholipide sind natürlich auftretende Bestandteile von pflanzlichen Zellmembranen und können aus diesem Grund nach exogener Applikation Verbindungen mit der Cuticula und der Plasmamembran eingehen und so die Eigenschaften der Blattoberfläche verändern (FRYER 1992, HESS 1993, TAIZ u. ZEIGER 2000). Diese Modifikationen erschweren die Penetration des Erregers durch die obersten Schichten des Blattes, welche *Venturia inaequalis* vom zwischen Cuticula und Epidermiszellen angeordneten Lebensraum trennen. Dies ist ein weiterer Erklärungsansatz für die reduzierte Anzahl erfolgreicher Infektionsstellen als Folge der Behandlung von Apfelsämlingen mit dem neuen  $\alpha$ -Tocopherol-Präparat. An dieser Stelle sollte aber angemerkt werden, dass Erhöhungen der Schichtdicke der Cuticula keine physikalischen Barrieren für *Venturia inaequalis* darstellen (JOHNSTONE 1931, VALSANGIACOMO u. GESSLER 1988). Demnach ist die Wirkung nicht auf die erhöhte Dicke durch Akrustierung oder Inkrustierung der Substanzen zurückzuführen.

Nach Behandlung der Pflanzen mit der Formulierung, welche verschiedene Phosphatidylsäuren enthält, wurden verlängerte Keimschläuche sowie eine reduzierte Anzahl von Konidien mit Appressorien beobachtet. Bei Sporenkeimung, Keimschlauchwachstum und Appressorien spielen häufig Signale auf der Pflanzenoberfläche eine bedeutende Rolle (KOLATTUKUDY et al. 1995, DEAN 1997, TUCKER u. TALBOT 2001). So wird die Bildung von Appressorien von *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* durch bestimmte chemische Signale auf der Oberfläche bzw. der Cuticula von Gerstenblättern ausgelöst (IWAMOTO et al. 2002, TSUBA et al. 2002). Zur Initiation verschiedener Entwicklungsphasen auf der pflanzlichen Oberfläche benötigen zum Beispiel Rostpilze spezifische topographische Signale (HEATH 1997). Für *Venturia inaequalis* sind keine genauen Angaben zur Art der Oberflächensignale zu finden; aber auch dieses Pathogen muss seinen Wirt anhand bestimmter Eigenschaften auf der Cuticula identifizieren können. Diese spezifischen Signale werden durch die Applikation der Phosphatidylsäuren der Formulierung möglicherweise so verändert, dass die Keimschläuche keinen Impuls für die Bildung des Appressoriums erhalten und deshalb suchend weiterwachsen (KOLATTUKUDY et al. 1995, TUCKER u. TALBOT 2001). Möglicherweise kann in diesem Zusammenhang auch ein weiterer Interpretationsansatz für die geringe Retention der Konidien suspension nach der Inokulation angenommen werden. Die Veränderung der spezifischen Signale auf der Oberfläche der Apfelsämlinge könnte die Ausbildung von Substanzen, wie z.B. Melanin unterbinden, welche zur Haftung der Appressorien von *Venturia inaequalis* synthetisiert wer-

den, so dass weniger Sporen auf der Oberfläche verbleiben (MACHARDY 1996, STEINER u. OERKE 2001).

Die antioxidative Wirkung von  $\alpha$ -Tocopherol als Radikalfänger zur Minderung oxidativen Stresses wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (FRYER 1992, HESS 1993, NOGA u. SCHMITZ 1998, WAGNER et al. 1998, WÖLFEL et al. 1998, SCHMITZ-EIBERGER u. NOGA 2001). Viröse, bakterielle und pilzliche Infektionen bewirken in Wirtspflanzen Veränderungen des antioxidativen Systems. Die Bedeutung der entstehenden Radikale wird in der Literatur vielfältig diskutiert (EDREVA et al. 1989, ELSTNER et al. 1996, VANACKER et al. 1998). So kann durch  $H_2O_2$ -Produktion der Erreger direkt getötet, eine Hypersensitivitätsreaktion ausgelöst oder die Transkription der Gene, welche Enzyme der Phytoalexin- und Lignin-Biosynthese aktivieren, gefördert werden (EL-ZAHABY et al. 1995, ELSTNER et al. 1996). Zahlreiche peritrophe Pflanzenpathogene nutzen Sauerstoffradikale zur Schädigung, z.T. auch zur Abtötung der Wirtszellen vor der Besiedelung des pflanzlichen Gewebes. Diese Form der Infektion kann durch exogene Applikation verschiedener Antioxidantien unterbunden werden, welche die Wirkung der zur Infektion notwendigen oxidativen Sauerstoffspezies aufheben (VON GÖNNER u. SCHLÖSSER 1992, KHAN et al. 1999, KHAN et al. 2001). Insbesondere die befallsreduzierende Wirkung verschiedener Antioxidantien auf *Botrytis cinerea* und *Erwinia amylovora* als Krankheitserreger, welche auch *Malus domestica* befallen können, sollen hier erwähnt werden (ELAD 1992, KECK et al. 1999, KUZNIAK u. SKLODOWSKA 2001, VENISSE et al. 2001). Beide Pathogene nutzen sowohl Enzyme als auch Reaktionen freier Radikale zur Schwächung bzw. Abtötung der Wirtszellen. Im Gegensatz zu diesen peritrophen Erregern tötet *Venturia inaequalis* keine Wirtszellen ab, sondern verhält sich während seiner asexuellen Phase als obligater Parasit mit biotropher Ernährungsweise (MACHARDY et al. 2001). Aus diesem Grund ist ein Vergleich des Einflusses exogen applizierter Antioxidantien auf den Infektionszyklus von *Botrytis cinerea* mit der Wirkung von  $\alpha$ -Tocopherol auf die Wirt-Parasit Beziehung *Malus domestica* – *Venturia inaequalis* nicht möglich. Pflanzen setzen Hypersensitivitätsreaktionen als Abwehrmechanismen ein, um die Entwicklung obligater Parasiten zu stoppen. Dabei entstehen oxidative Sauerstoffspezies, welche zum einen als Elicitoren das pflanzliche Abwehrsystem aktivieren und zum anderen zur Verwirklichung des vereinzelten, aktiven Zelltodes eingesetzt werden. Antioxidantien würden diese Sauerstoffradikale neutralisieren und so den Zelltod als Folge einer Hypersensitivitätsreaktion hemmen. Der Erreger könnte anschließend erfolgreich die Wirtszellen befall-



len. Aus diesem Grund muss es sich bei der Wirkung der Phosphatidylsäuren und des  $\alpha$ -Tocopherols um einen anderen Mechanismus als die Anregung des antioxidativen Systems und die damit verbundene Verhinderung von Hypersensitivitätsreaktionen handeln. Diese Wirkung würde obligate Pathogene eher fördern als deren Befallsentwicklung im Wirtsgewebe zu reduzieren (EL-ZAHABY et al. 1995, VAITKUNIENE et al. 1997, KIRÁLY et al. 2000).

Für das Wirt-Pathogen-System *Fragaria ananassa* (Erdbeere) – *Spaerotheca macularis f. sp. fragariae* (Echter Mehltau) wurde eine Aufhebung der befallsreduzierenden Wirkung von Methionin-Riboflavin-Mischungen durch Zugabe von Antioxidantien beschrieben (WANG u. TZENG 1998). Diese Veröffentlichung bestätigt die mögliche Förderung des Befalls biotropher Erreger durch die Applikation von Antioxidantien, falls deren Wirkung auf der Reduktion von radikalen Sauerstoffspezies beruht. Die Eigenwirkung des  $\alpha$ -Tocopherols gegenüber *Venturia inaequalis* beruhte demnach vermutlich nicht auf den Eigenschaften dieses Radikalfängers, den Einfluss reaktiver Sauerstoffspezies zu reduzieren, sondern war eher auf die membranstabilisierende bzw. -verändernde Wirkung dieser Substanz zurückzuführen. LUPU et al. (1980) führen die befallsreduzierende Wirkung von Vitamin E gegenüber Echtem Mehltau (*Erysiphe cichoracearum*) an Tabak ebenfalls auf die Stabilisierung der Zellmembranen des Wirtes zurück, wodurch die Ernährung des Erregers nicht mehr sichergestellt ist. Diese Theorie kann für die veränderte Beziehung zwischen *Venturia inaequalis* und *Malus domestica* nach Applikation der Präparate nicht verwendet werden, da die Veränderung der Pathogenese bereits vor der Penetration der Cuticula zu beobachten war.

Als Folge exogener Applikation von  $\alpha$ -Tocopherol bzw. des Tocopherol-Präparates traten auf der Blattoberfläche Deformationen an Keimschläuchen auf. Diese Veränderungen lassen eine direkte fungizide Wirkung der Substanzen auf die Keimschlauchbildung vermuten. Sowohl  $\alpha$ -Tocopherol als auch die Phosphatidylsäuren, die Hauptkomponenten der ökologisch unbedenklicheren Formulierung sind Bestandteile biologischer Membranen und Zellwände und können als natürlich auftretende Bestandteile auch in die Membranen des Pathogens eingelagert werden (PRIOR et al. 1993). Zwischen Vitamin E und freien Fettsäuren kann es zur Bildung höherer Aggregate kommen, deren Wirkungsweise nicht bekannt ist (ALSCHER u. HESS 1993). Möglicherweise verursachte diese Veränderung der Membranstabilität und -permeabilität Wachstumsstörungen während der Keimschlauchbildung und rief so die beobachteten geweihartigen Verzweigungen und andere Deformationen der Keimschläuche hervor.

Die erhöhte Stabilität der Membranen durch die erwähnte Einlagerung von  $\alpha$ -Tocopherol und Phosphatidylsäuren bewirkte unter Umständen eine verringerte Verfügbarkeit von Wirtsassimilaten für den Erreger, als Folge derer die wenigen erfolgreichen Infektionsstellen ein verlangsamtes subcuticuläres Wachstum und eine deutlich verringerte Sporulation aufweisen. ORTEGA (1999) beschreibt eine Verzögerung der subcuticulären Entwicklungsstadien von *Venturia inaequalis* durch eine verringerte Versorgung des Erregers mit Assimilaten des Wirtes nach Resistenzinduktion.

Für eine endgültige Bewertung des sinnvollen Einsatzes des untersuchten  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates im Apfelanbau sind weiterführende Untersuchungen an Bäumen unter Freilandbedingungen nötig. Aufgrund der angesprochenen Kupferproblematik und der aus diesem Grund dringend erforderlichen Suche nach Ersatzwirkstoffen für den ökologischen Apfelanbau wird angeregt, die Wirksamkeit des mit den Richtlinien des organischen Apfelanbaus konformen Präparates im praktischen Anbau zu testen.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Die in der Literatur beschriebenen Wirkungsgrade des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates PLANTACUR E® konnten durch die vorliegenden Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen bestätigt werden. Die Befallsreduktionen von *Venturia inaequalis* an Apfelsämlingen steigerten sich durch die Verwendung der mit den Richtlinien des organischen Apfelanbaus konformen Formulierung auf mehr als 80% zwei Wochen nach Inokulation. Der Wirkungsgrad verringerte sich im Verlauf weiterer zehn Tage auf 60%. Bei alleiniger Applikation des Antioxidans ohne unterstützende Formulierung wurde eine Minderung des Blattbefalls um maximal 30% im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beobachtet. Demnach wies die neue Formulierung eine hohe Eigenwirkung oder ein beträchtliches synergistisches Potenzial auf.

Aufgrund der fehlenden Notwendigkeit eines Induktionsintervalls und der Hemmung der Entwicklungsstadien oberhalb der Cuticula konnte das Phänomen der Resistenzinduktion als Wirkungsmechanismus des eingesetzten Präparates sowie der einzelnen Komponenten nicht verwendet werden.

Die Veränderungen der Blattoberfläche als Folge der Applikation der Wirksubstanzen ( $\alpha$ -Tocopherol und Phosphatidylsäuren) verringerten die Retention der Konidien suspension und die Blattnässedauer. Dies scheint die Hauptursache der beobachteten Befallsreduktionen zu sein.

Die wenigen auf der Blattoberfläche verbliebenen Konidien wurden in ihrer Keimfähigkeit nicht beeinflusst. Als Folge der Behandlungen konnte eine erhöhte Anzahl deformierter Keimschläuche beobachtet werden. Appressorienbildung, Penetration und Laufhyphendifferenzierung waren reduziert. Die subcuticuläre Entwicklung des Sekundärstromas zwischen Cuticula und Epidermiszellen fand zeitlich verzögert statt oder wurde sogar unterdrückt. Als Folge dessen war die Sporulation deutlich verringert. Hierfür wurden verschiedene Ursachen diskutiert.

Die Wirksamkeit des verwendeten  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates sollte, im Hinblick auf eine mögliche gesetzliche Neubildung des Kupfereinsatzes, unter praxisrelevanten Bedingungen überprüft werden.

## F Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Studien wurden zur Verbesserung der Kontrollmöglichkeiten von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. das Auftreten und die Bedeutung überwinternder asexueller Strukturen für den rheinischen Apfelanbau, die Beeinflussung der Knospenqualität durch Apfelschorf sowie der Einfluss eines  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates auf die Befallsentwicklung untersucht. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Unter rheinischen Anbaubedingungen bestand eine deutliche Beziehung zwischen hohem sowie frühem Blattbefall und dem Anteil befallener Früchte zur Ernte. Bereits vier Fungizidbehandlungen zu Beginn der Vegetation reichten aus, um die durch Schorf bedingten Verluste der marktfähigen Ware um 50% zu verringern. Die befallsreduzierende Wirkung einer einmaligen DELAN®-Behandlung vor Knospenaufbruch ließ sich nicht ausschließlich durch das Auftreten von Ascosporen erklären, da diese durch Häckseln des Falllaubs deutlich reduziert wurden, und die beiden zur gleichen Zeit verwendeten Wirkstoffe Pyrimethanil (SCALA®) und Mancozeb (DITHANE ULTRA WG®) die Befallsentwicklung von *Venturia inaequalis* im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht veränderten. Einmalige Fungizidbehandlungen vor bzw. nach der Ernte beeinflussten nicht die Befallsetablierung und -intensität des Apfelschorfs im Folgejahr.
- Das Auftreten und die Bedeutung überwinternder Konidien wurde für den rheinischen Apfelanbau am Standort der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf (Meckenheim) untersucht, um die Aussage der vorhandenen Schorf-Warnsysteme zu ergänzen. Ascosporen stellen auch im Rheinland die bedeutendste Primärinokulumquelle dar. Aufgrund der durchgeführten Studien konnte aber gezeigt werden, dass Konidien grundsätzlich im Inneren von Knospen zu finden waren, dies aber nur selten auftrat. Häufiger konnten Konidien und Myzel in Befallsstellen an äußeren Knospenschuppen sowie an jungen Trieben nachgewiesen werden. Im zeitigen Frühjahr auftretende Konidien wurden meist in überwinternden Läsionen an Trieben und Knospenschuppen neugebildet und überwinterten nicht auf äußeren Oberflächen des Wirtes. Die dargestellten Studien zur Frosttoleranz der Sommersporen unter kontrollierten Bedingungen zeigten, dass Konidien von *Venturia inaequalis* bei niedrigen Temperaturen (4°C) keimen, mehrmalige Temperaturschwankungen um 0°C mit nur geringen Einbußen ihrer Keimfähigkeit überstehen und bei Temperaturen um 2°C (+/- 2°C) Apfelblätter infizieren konnten.

Unter Einbeziehung der Rasterelektronenmikroskopie wurden verschiedene Symptome und Entwicklungsstadien des Triebsschorfs in neuer Form sichtbar gemacht. Hierbei bestätigte sich, dass die Ausbildung und die Überwinterung von Triebsschorfsymptomen sowohl von der verwendeten Apfelsorte als auch von der eingesetzten Population von *Venturia inaequalis* sowie von den Witterungsbedingungen während der Überwinterung abhängig ist.

- *Venturia inaequalis* kann als biotischer Einflussfaktor die Entwicklung von Blütenknospen beim Apfel auf zwei verschiedene Weisen verändern. Ein direkter Befall der Knospen führte zu sehr früher und intensiver Befallsentwicklung an Blättern, Blüten und Früchten. Als Folge sehr hohen Blattschorfbefalls kann Apfelschorf die Blütenknospenentwicklung auch indirekt negativ beeinflussen, so dass bei unbehandelten Bäumen im Folgejahr die Anzahl Blütenknospen um 30% verringert war. Verschiedene Ausdünnungsintensitäten ermöglichten die Untersuchung der Wirkung des Apfelschorfbefalls auf Fruchtqualität und Blütenknospenentwicklung ohne das Auftreten von Fruchtschorf. Die Notwendigkeit hoher Reduktionen der Assimilationsfläche und des Fruchtansatzes zur Beeinflussung von Fruchtqualität und Blütenbildung wurde hierbei deutlich. Blattdüngungen mit Stickstoff konnten, kurzfristig im richtigen Wachstumsabschnitt an den Ort des Bedarfs gebracht, die Konkurrenz um Assimilate der verschiedenen Pflanzenorgane aufgrund intensiver Wachstumsprozesse mildern, aber nicht verhindern.
- Die in der Literatur beschriebenen Wirkungsgrade des  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates PLANTACUR E® wurden durch die vorliegenden Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen bestätigt. Die Befallsreduktionen von *Venturia inaequalis* an Apfelsämlingen steigerten sich durch die Verwendung der den Anforderungen des ökologischen Anbaus entsprechenden Formulierung auf mehr als 80%. Bei alleiniger Applikation des Antioxidans ohne unterstützende Formulierung wurde eine Minderung des Blattbefalls um maximal 30% beobachtet. Demnach wies die neue Formulierung eine hohe Eigenwirkung auf, wobei auch synergistische Effekte mit  $\alpha$ -Tocopherol nicht ausgeschlossen werden können.

Durch die Veränderungen der Blattoberfläche als Folge der Applikation der Wirksubstanzen ( $\alpha$ -Tocopherol und Phosphatidylsäuren) wurde die Retention der Konidiensuspension und die Blattnässedauer verringert. Neben deformierten Keimschläuchen trat bei den wenigen auf der Blatt-

oberfläche verbliebenen Konidien eine reduzierte Appressorien- und Primärstromabildung auf. Die darauffolgende subcuticuläre Entwicklung von Laufhyphen und Sekundärstroma zwischen Cuticula und Epidermiszellen fand zeitlich verzögert statt oder wurde sogar unterdrückt. Als Folge dessen war die Sporulation deutlich verringert.

Asexuelle Strukturen von *Venturia inaequalis* können im Rheinland Ascosporen als zusätzliche Primärinokulumquelle ergänzen. Konidien und Myzel stellen eine mögliche Primärinokulumquelle dar, welche auch bei niedrigen Temperaturen und suboptimalen Witterungsbedingungen nicht unterschätzt und übersehen werden sollte. Die generelle, präventive Applikation eines geeigneten Fungizids bei erstem Austrieb unabhängig vom Ascosporenpotenzial erscheint aber nur in Anlagen sinnvoll, welche im Herbst bzw. Winter bereits hohen Trieb- bzw. Knospenbefall aufweisen. Dies sollte durch Bonituren der Anlagen überprüft und in die Schorf-Prognosemodelle übertragen werden.

Aufgrund des negativen Einflusses hoher Blattbefallsintensitäten auf den Anteil Blütenknospen im Folgejahr sollte die Befallsentwicklung des Apfelschorfs trotz der einsetzenden Altersresistenz der Früchte zur Zeit der Blüteninitiation und der darauffolgenden Entwicklung nicht außer Acht gelassen werden. Die positive Wirkung der Harnstoff-Blattdüngung auf die Blütenknospenentwicklung lässt die Annahme zu, dass die negativen Auswirkungen von durch Blattschorf deutlich reduzierter Assimilationsfläche durch Stickstoffdüngung gemildert werden können.

Für eine endgültige Bewertung des sinnvollen Einsatzes des untersuchten  $\alpha$ -Tocopherol-Präparates im Apfelanbau sind weiterführende Untersuchungen an Bäumen unter Freilandbedingungen nötig. Aufgrund der angesprochenen Kupferproblematik und der aus diesem Grund dringend erforderlichen Suche nach Ersatzwirkstoffen für den ökologischen Apfelanbau wird angeregt, die Wirksamkeit des mit den Richtlinien des organischen Apfelanbaus konformen Präparates im praktischen Anbau zu testen.

## G Literaturverzeichnis

- AALBERS, P. (2001). Regenwormen, partners bij de schurftbestrijding. *Fruiteelt-Den-Haag* 91 (31): 12-14
- ADAMS, J. F. (1925). The spore discharge of the apple scab fungus in Delaware. *Del. Agric. Exp. Stn. Bull.* 140
- ADERHOLD, R. (1896). Die Fusicladien unserer Obstbäume. I. Teil. *Landw. Jahrb.* 25: 875-914
- ALEXANDER, S. A., LEWIS, F. H. (1975). Reduction of apple scab fungus inoculum with fungicides. *Plant Dis. Rep.* 59: 890-894
- ALSCHER, R. G., HESS, J. L. (1993). *Antioxidants in higher plants*. CRC press, Inc., Boca Raton
- ALSTON, F. H., KELLERHALS, M., GOERRE, M., RAPILLARD, C. (1996). Resistenzzüchtung bei Apfel und Birne: 10 Jahre Zusammenarbeit zwischen East Malling, Wädenswil und Fougères. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 25/96
- AMADORI, E., HEUPT, W. (1978). Dithianon. *Analytical Methods for Pesticides and Plant Regulators x New and updated methods*: 181-187
- ANDREWS, J. H. (1992). Biological control in the phyllosphere. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30
- ANDREWS, J. H., BERBEE, F. M., NORDHEIM, E. V. (1983). Microbial antagonism to the imperfect stage of the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 73: 228-234
- AUST, H.-J., BUCHENAUER, H., KLINGAUF, F., NIEMANN, P., PÖHLING, H. M., SCHÖNBECK, F. (1991). *Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft, Band 3, Glossar Phytomedizinischer Begriffe*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISBN 3-8001-8912-7
- AYLOR, D. E., SANOGO, S. (1997). Germinability of *Venturia inaequalis* Conidia Exposed to Sunlight. *Phytopathol.* 87(6): 628-633
- BAGENAL, N. B., GOODWIN, W., SALMON, E. S., WARE, W. M. (1925). Spraying experiments against apple scab. *J. Min. Agric.* 32: 137-149
- BAILEY, L. H. (1895). The recent apple failures of western New York. *Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull.* 84: 1-34
- BATZER, U., BERLING, R., HELM, H.-U. (2000). Erfahrungen mit dem Schorf-simulationsprogramm SCHORFEXPERT. *Erwerbsobstbau* 42: 1-7
- BAYHUBER, H., KULL, U. (1989). *Linder Biologie – Lehrbuch für die Oberstufe*. Carl Ernst Poeschel Verlag, Stuttgart, 20., neubearbeitete Auflage, ISBN 3-476-20347-6
- BBA (1999). Richtwerte für Schwermetallrückstände in Lebensmitteln. *Mitteilungen des Bundesgesundheitsamtes* 1999
- BBÖ (1998). Beratungsdienst ökologischer Obstbau e.V., 1998: Marktübersicht über den Obstbau Weinsberg
- BECKER, C. M. (1990). Overwintering of the anamorph of *Venturia inaequalis* (*Spilocaea pomi*) in apple buds and the viability of conidia as affected by discontinuous wetting. Ph.D. dissertation. Cornell University, Ithica, NY. 86 pages
- BECKER, C. M., BURR, T. J. (1990 A). Apple scab lesions, caused by *Venturia inaequalis*, on shoots in New York; histology and enumeration of inoculum. (Abstr.) *Phytopathol.* 80: 117

- BECKER, C. M., BURR, T. J. (1990 B). Association of *Venturia inaequalis* conidia with apple buds. (Abstr.) Phytopathol. 80: 117
- BECKER, C. M., BURR, T. J., SMITH, C. A. (1992). Overwintering of Conidia of *Venturia inaequalis* in Apple Buds in New York Orchards. Plant Dis. 76: 121-126
- BELZ, J., RUESS, F. (2001). Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien auf Ertrag, Qualität und Kostenaufwand von schorffresistenten Apfelsorten. Erwerbsobstbau 43: 33-38
- BÉNAOUF, G., PARISI, L. (2000). Genetics of Host-Pathogen Relationships between *Venturia inaequalis* Races 6 and 7 and *Malus* Species. Phytopathol. 90(3): 236-242
- BERKELEY, M. J. (1855). Gardener's Chronicle: 724
- BERTSCHINGER, L., STADLER, W. (1997). IP- und Bio-Apfelbau: ein Vergleich – 6. Behangs- und Alternanzregulierung. Schweiz. Z. Obst-Weinbau; 12/97: 293-294
- BOSSHARD, E., SCHÜEPP, H. (1994). Die Wirkung natürlicher Substanzen für die Regulierung von Apfelschorf. Obst-Weinbau 22/94: 528-530
- BOUDREAU, M. A., ANDREWS, J. H. (1987). Factors influencing antagonism of *Chaetomium globosum* to *Venturia inaequalis*: A case study failed bio-control. Phytopathol. 77: 1470-1475
- BROOM, F. D., SMITH, G. S., MILES, D. B., GREEN, T. G. A. (1998). Within and between tree variability in fruit characteristics associated with bitter pit incidence of 'Braeburn' apple. J. Hort. Sci. & Biotechn. 73 (4): 555-561
- BUBAN, T., FAUST, M. (1982). Flower bud induction in apple trees: Internal control and differentiation. Hort. Rev. 4: 174-203
- BUCHENAUER, H. (1984). Resistenzentwicklung von Pilzen gegenüber Fungiziden und Strategien zur Vermeidung von Fungizidresistenz. Gesunde Pflanze 36: 132-142
- BUCHTER-WEISBRODT, H. (1996). Phenole gegen Schorf- Lehrstuhl für Obstbau lüftet Geheimnis der Schorffresistenz. Obstbau 2/96
- BUKOVAC, M. J., SCHROEDER, M., NOGA, G. (2000). Effects of fruit thinning sprays of NAA and BA on cropping of 'Elstar' and 'Gloster' apples. Acta Hort. 514: 91-98, ISHS 2000
- BURCHILL, R. T., COOK, R. T. A. (1970). The interaction of urea and microorganism in suppressing the development of perithecia of *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.. In: Ecology of Leaf Surface Micro-Organisms. Preece, T. F., Dickinson, C. H. (eds.). Academic Press, New York: 471-483
- BURCHILL, R. T., HUTTON, K. E. (1965). The suppression of ascospore production to facilitate the control of apple scab (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.). Ann. Appl. Biol. 56: 285-292
- BURR, T. J., MATTESON, M. C., SMITH, C. A., CORRAL-GARCIA, M. R., HUAN, T. C. (1996). Effectiveness of bacteria and yeast from apple orchards as biological control agents of apple scab. Biol. Control 6: 151-157
- BÜTTNER, R., GEIBEL, M., FISCHER, C. (1999). Das genetische Potential an Schorf- und Mehltairesistenz in *Malus*-Wildarten. Erwerbsobstbau 41: 102-105
- CARISSE, O., PELLETIER, J. R. (1994). Sensitivity distribution of *Venturia inaequalis* to fenarimol in Quebec apple orchards. Phytoprotection 75: 35-40



- CHEN, K., HU, G., LENZ, F. (1997). Effects of CO<sub>2</sub> concentrations of strawberry. V. Macronutrient uptake and utilization. J. Applied Botany 71: 189-194
- COOK, R. T. A. (1974). Pustules on wood as sources of inoculum in apple scab and their response to chemical treatments. Ann. Appl. Biol. 77: 1-9
- CREEMERS, P. (1998). Durchdachte Schorfbekämpfung – Flexibilität als Herausforderung. Obstbau 4/98: 209-212
- CREEMERS, P., BRUGMANS, W., VANMECHELEN, A. (1995). The Anilino-Pyrimidines, an interesting new fungicide family to control fungal diseases in fruit culture. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent 60/2b: 353-360
- CUBONI, G. (1892). Sulla forma ibernante del *Fusicladium dendriticum*. Soc. Bot. Ital. Bull. : 287-288
- CULLEN, D., BERBEE, F. M., ANDREWS, J. H. (1984). *Chaetomium globosum* antagonizes the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*, under field conditions. Can. J. Bot. 62: 1814-1818
- DANIELS, A., BIRCHMORE, R. J., WINTER, E. H. (1994). Activity of Pyrimethanil on *Venturia inaequalis*. Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases: 525-532
- DAVIES, P. J. (1995). Plant Hormones 1995. Kluwer Academic Publisher, Netherlands
- DEAN, R. A. (1997). Signal Pathways and Appressorium Morphogenesis. Annu. Rev. Phytopathol. 35: 211-234
- DILLON WESTON, W. A. R., PETHERBRIDGE, F. R. (1933). Apple and pear scab in East Anglia. J. Pomol. Hort. Sci. 11: 185-198
- DITZER, S. (2001). Grundlegende Faktoren der Regenfestigkeit, untersucht am Beispiel ausgewählter Kontaktfungizide bei ‚Golden Delicious‘. Diss. Universität Bonn, Shaker Verlag, Aachen
- DOLEGA, E. (1996). Blütenentwicklung bei Apfelbäumen. Obst und Garten 113 (2): 48-51
- DOLEGA, E., BERTSCHINGER, L. (1998). Erforschung der Blütenbildung bei Obstgehölzen und ihre Anwendung. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 134 (16): 420-421
- DOLEGA, E., BERTSCHINGER, L., FANKHAUSE, F., STADLER, W. (1997). Zur Untersuchung von Obstknospen: Aussagekraft und Anwendungsmöglichkeiten. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 133 (25): 633-635
- DORAN, W. L. (1922). Effect of external and internal factors on the germination of fungous spores. Bull. Torrey Bot. Club 49: 313-340
- EBERT, A. (1987). Wirkung eines Zusatzes von Mineralöl bei der chemischen Ausdünnung von Äpfeln. Erwerbsobstbau 29: 84-87
- EDREVA, A. M., GEORGIEVA, I. D., CHOLAKOVA, N. I. (1989). Pathogenic and non-pathogenic stress effects on peroxidases in leaves of tobacco. Environmental and Experimental Botany 29 (3): 365-377
- ELAD, Y. (1992). The use of antioxidants (free radical scavengers) to control grey mould (*Botrytis cinerea*) and white mould (*Sclerotinia sclerotiorum*) in various crops. Plant Pathol. 41: 417-426
- ELSTNER, E. F., OSWALD, W., SCHNEIDER, I. (1996). Phytopathologie: Allgemeine und biochemische Grundlagen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, ISBN 3-8274-0074-0
- EL-ZAHABY, H. M., GULLNER, G., KIRÁLY, Z. (1995). Effects of Powdery Mildew Infection of Barley on the Ascorbate-Glutathione Cycle and Other Anti-

- oxidants in Different Host-Pathogen Interactions. *Phytopathol.* 85 (10): 1225-1230
- EWERT, R. (1910). Die Überwinterung von Sommerkonidien pathogener Ascomyceten und die Widerstandsfähigkeit derselben gegen Kälte. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 20: 138-139
- FAILLA, O., POMA TRECCANI, C., MIGNANI, I. (1990). Water Status, Growth and Calcium Nutrition of Apple Trees in Relation to Bitter Pit. *Sci. Hort.* 42: 55-64
- FALLAHI, E., WILLIAMS, M. W., COLT., W. M. (1997). Blossom Thinning of 'Law Rome Beauty' Apple with Hydrogen Cyanamide and Monocarbamide Dihydrogensulfate. *Journal of Tree Fruit Production* 2(1): 33-44
- FERGUSON, I. B., WATKINS, C. B. (1989). Bitter Pit in Apple Fruit. *Hort. Rev.* 11: 289-355
- FERGUSON, I. B., WATKINS, C. B. (1992). Crop Load Affects Mineral Concentrations and Incidence of Bitter Pit in 'Cox's Orange Pippin' Apple Fruit. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* 117 (3): 373-376
- FISCHER, C. (1996). Schorfresistenz beim Apfel - Ergebnisse und Strategien der Resistenz. *Erwerbsobstbau* 38: 71-76
- FISS, M., KUCHERYAVA, N., SCHÖNHERR, J., KOLLAR, A., ARNOLD, G., AULING, G. (2000). Isolation and characterization of epiphytic fungi from the phyllosphere of apple as potential biocontrol agents against apple scab (*Venturia inaequalis*). *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 107: 1-11
- FORSHEY, C., ELFVING, D., STREBBINS, R. (1992). Training and pruning apple and pear trees. *Americ. Soc. Hort. Sci.* IPC Verlag, Michigan
- FRIED, A. (1993). Apfelmehltaubekämpfungs- und Verträglichkeitsversuche mit „alternativen“ Präparaten von 1990-1992. *Gesunde Pflanzen* 45(2): 50-54
- FRIEDRICH, G. (1993). *Handbuch des Obstbaus*. Neumann-Verlag, Radebeul, ISBN: 3-7402-0116-9
- FRIEDRICH, G., NEUMANN, D., VOGL, M. (1986). *Physiologie der Obstgehölze*, Akademie-Verlag Berlin
- FRYER, M. J. (1992). The antioxidant effects of thylakoid vitamin E ( $\beta$ -tocopherol). *Plant, Cell and Environm.* 15: 381-392
- GADOURY, D. M., MACHARDY, W. E. (1986). Forecasting ascospore dose of *Venturia inaequalis* in commercial orchards. *Phytopathol.* 76: 112-118
- GADOURY, D. M., SEEM, R. C., STENSVAND, A. (1994). Ascospore discharge in *Venturia inaequalis*. *Nor. J. Agric. Sci. Suppl.* 17: 205-219
- GADOURY, D. M., STENSVAND, A., SEEM, R. C. (1998). Influence of light, relative humidity, and maturity of populations on discharge of ascospores of *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 88: 902-909
- GÄRTEL, W. (1985). *Pflanzenschutzmittel und Boden – Belastung von Weinbergsböden*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 123-133
- GLENN, D. M., PETERSON, D. L., GIOVANNI, D., FAUST, M. (1994). Mechanical Thinning of Peaches is Effective Postbloom. *Hort. Sci.* 29 (8): 850-853
- GLOYER, W. O. (1937). Evaluation of the Geneva experiment on scab control. *Phytopathol.* 27: 129
- GOOSENS, J. (1934). An investigation on the primary source of infection by apple and pear scab. *T. Plantenziekten* 40: 174-176.
- GOSSARD, H. A. (1909). Apple spraying in 1908. *Ohio Agric. Exp. Stn. Circ.* 95: 4

- GRASMANIS, V. O., EDWARDS, G. R. (1974). Promotion of flower initiation in apple trees by short exposure to the ammonium ion. *Aust. J. Plant Physiol.* 1: 99-105
- GROSS-SPANGENBERG, A. (1992). Untersuchungen zur Regulierung des Apfelschorfes *Venturia inaequalis* mit Kompost und Kompostextrakten. Diss. Universität Bonn
- GRUNEWALDT-STÖCKER, G. (1985). Zur Verwendung von 2-Hydroxyethyl-Methacrylat (GMA) als Einbettungsmedium bei histologischen Untersuchungen in der Phytopathologie. *Phytopath. Z.* 113, 150-157
- GULLINO, M. L., LEROUX, P., SMITH, C. M. (2000). Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection* 19: 1-11
- GUPTA, G. K., LELE, V. C. (1980). Role of urea in suppression of the ascigerous stage, and comparative in vitro efficacy of fungicides against apple-scab. *Indian J. Agric. Sci.* 50 (2): 167-173
- GUTMANN, M., RUEHMANN, S., TREUTTER, D., FEUCHT, W. (1998). Nutzung von Mikroorganismen der Phyllosphaere des Apfels als potentielle Resistenzinduktoren gegen *Venturia inaequalis*. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem* 357
- HANDSCHACK, M. (1999). Alternative Verfahren der Blütenausdünnung. *Obstbau* 4/99: 221-225
- HANSEN, P. (1978). Blatt/Frucht-Verhältnisse, Assimilatverteilung und Fruchtentwicklung. *Erwerbsobstbau* 20: 228-231
- HARTMANN, J. R., PARISI, L. BAUTRAIS, P. (1999). Effect of leaf wetness duration, temperature, and inoculum dose on apple scab infections. *Plant Dis.* 83 (6): 531-534
- HEATH, M. C. (1997). Signalling between pathogenic rust fungi and resistant or susceptible host plants. *Ann. Botany* 80(6): 713-720
- HEIJNE, B., ANBERGEN, R. H. N. (1999). Niet méér schurft door overwinterende conidien. *Fruiteelt* 89 (8): 14-15
- HEIJNE, B., BALKHOVEN-BAART, J.M.T., VEENS, T.S.G.M., ANBERGEN, R.H.N. (2000). Field Evaluation of Pre-Leaf Fall Applications to reduce the Amount of Apple Scab Inoculum. *Acta Hort.* 525, ISHS 2000: 251-256
- HENNERTY, M. J., FORSHEY, C. G. (1971). Effects of defruiting, scoring, defoliation and shading on the carbohydrate content of 'Golden Delicious' apple trees. *J. Hort. Sci.* 46: 153-161
- HESS, J. L. (1993). Vitamin E,  $\alpha$ -Tocopherol. In: *Antioxidants in higher plants*. Alscher, R. G., Hess, J. L. (Eds.). CRC press, Inc., Boca Raton: 111-134
- HESS, R., STÖSSER, R. (1986). Histologische Untersuchungen der Befallsstellen des Apfelschorfs (*Venturia inaequalis*) an Trieben, Blättern und Früchten. *Mitt. Klosterneuburg* 36: 75-88
- HILBERS, J., CLEVER, M. (1999). Ausdünnungskonzept im Integrierten Tafelapfelanbau an der Niederelbe. *Mitt. OVR* 54: 34-47
- HILDERBRAND, P. D., LOCKHART, C. L., NEWBERRY, R. J., ROSS, R. G. (1988). Resistance of *Venturia inaequalis* to bitertanol and other demethylation-inhibiting fungicides. *Can. J. Plant. Pathol.* 10: 311-316
- HILL, J. (1980). The remobilization of nutrients from leaves. *J. Plant Nutr.* 2: 407-444

- HILL, S. A. (1975). The importance of Wood Scab caused by *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. as a Source of Infection for Apple Leaves in Spring. *Phytopath. Z.*, 82: 216-223
- HIRST, J. M., STEDMAN, O. J. (1961). The epidemiology of apple scab (*Venturia inaequalis*). I. Frequency of airborne spores in orchards. *Ann. Appl. Biol.* 49: 290-305
- HIRST, J. M., STEDMAN, O. J. (1962). The epidemiology of apple scab (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.). III. The supply of ascospores. *Ann. Appl. Biol.* 50: 551-567
- HIRST, J. M., STOREY, I. F., WARD, W. C., WILCOX, H. J. (1955). The origin of apple scab epidemics in the Wisbech area in 1953 and 1954. *Plant Pathol.* 4:91
- HOCK, B., ELSTNER, E. F. (1995). *Schadwirkungen auf Pflanzen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 3., überarb. Auflage, ISBN 3-86025-649-1
- HOFFMANN, G. M., NIENHAUS, F., POEHLING, H.-M., SCHÖNBECK, F., WELTZIEN, H. C., WILBERT, H. (1994). *Lehrbuch der Phytomedizin*. 3. Neubearb. Auflage, Blackwell-Wiss.-Verl., Berlin; 542 Seiten
- HÖHN, E., WEIBEL, F. (1997). IP- und Bio-Apfelbau: ein Vergleich – 9. Fruchtqualität. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 20/97: 517-518
- HOLB, I. J., HEIJNE, B. (2001). Evaluating primary scab control in organic apple production. *Gartenbauwissenschaft* 66 (5): 254-261
- HOOD, M.-E., SHEW, H.-D. (1996). Applications of KOH-aniline blue fluorescence in the study of plant-fungal interactions. *Phytopathol.* 86: 704-708
- IWAMOTO, M., TAKEUCHI, Y., TAKADA, Y., YAMAOKA, N. (2002). Coleoptile surface cuticle of barley is involved in survival and penetration of *Blumeria graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 60: 31-38
- JEFFREY, M. W. (1953). Preliminary investigation into the life cycle of *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. in South Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 4: 415-422
- JEGER, M. J., BUTT, D. J. (1983). Overwintering of *Venturia inaequalis* the causal agent of apple scab in relation to weather. *Ann. Appl. Biol.* 103: 201-218
- JEGER, M. J., SWAIT, A. A. J., BUTT, D. J. (1982). Overwintering of *Venturia inaequalis*, the causal agent of apple scab, on different cultivars. *Ann. Appl. Biol.* 100: 91-98
- JOHNSON, D. S. (1992). The effect of flower and fruit thinning on the firmness of 'Cox's Orange Pippin' apples at harvest and after storage. *J. Hort. Sci.* 67 (1): 95-101
- JOHNSON, D. S. (1992). The effect of flower and fruit thinning on the firmness of 'Cox's Orange Pippin' apples at harvest and after storage. *J. Hort. Sci.* 67 (1): 95-101
- JOHNSON, D. S., MARKS, M. J., PEARSON, K. (1987). Storage quality of Cox's Orange Pippin apples in relation to fruit mineral composition during development. *J. Hort. Sci.* 62: 17-25
- JOHNSTONE, K. H. (1931). Observations on the varietal resistance of the apple to scab (*Venturia inaequalis*, Aderh.) with special reference to its physiological aspects. *J. Pomol.* 9 (30-52): 195-221

- JONES, A. L. (1998). Apple scab: role of environment in pathogen and epidemic development. In: The Epidemiology of Plant Diseases. Edited by D. Gareth Kluwer Publishers, Dordrecht, ISBN 0 412 78330 4
- JONES, A. L., ALDWINCKLE, H. S. (1997). Compendium of Apple and Pear Diseases. 3. Auflage, APS Press ISBN 0-89054-109-4
- JONG, P.F., DE, HEIJNE, B., ANBERGEN, R., DE JONG, P. F. (2002). Alleen met zwafel verder? Fruiteelt 92 (1): 8-10
- JONKERS, H. (1979). Biennial bearing in apple and pear: a literature survey. Sci. Hort. 11: 303-317
- JÜRGENS, G. (1987). Erfolgreicher Blattdünger-Einsatz im Obstbau. Erwerbsobstbau 29: 161-165
- KARRER, E. (1991). Zur Biologie der Regenfleckenkrankheit. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg
- KATZFUSS, M. (1984). Wirkung zeitlich verschiedener Ethephonbehandlungen auf die Blütenbildung von Apfelbäumen. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin 221: 41-45
- KECK, M., RIEDLE-BAUER, M., MOMOL, M. T., SAYGILI, H. (1999). Activities of antioxidant enzymes during *Erwinia amylovora* plant interactions. Acta Hort. 489: 341-344
- KEITT, G. W., JONES, I. K. (1926). Studies of the epidemiology and control of apple scab. Wis. Agric. Exp. Stn. Bull. 73: 194 ff.
- KELLERHALS, M., MÜLLER, W., BERTSCHINGER, L., DARBELLAY, C., PFAMMATTER, W. (1997). Obstbau. Merkur Druck AG, Langenthal, Schweiz, ISBN 3 906679 58 6
- KELLERHALS, M., RIESEN, W., WEIBEL, F. (1997). IP- und Bio-Apfelanbau: ein Vergleich, 2. Standort- und Sortenwahl. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 3/97: 80-81
- KENNEL, W. (1981). Zum Auftreten von Schorfkonidien an äußerlich unversehrteter Rinde von Apfelzweigen. 43. Deutsche Pflanzenschutztagung, Hamburg, 5-9 Oct. 1981, Proc. 203: 117
- KENNEL, W. (1987). Kelchblätter als erste Objekte für den Apfelschorf. Erwerbsobstbau 29: 36-38
- KENNEL, W. (1989). Biologische Grundlagen für die Bekämpfung des Apfelschorfs. Obst und Garten 108: 144-146
- KENNEL, W., MOOSHERR, W. (1983). Kelchblatt-Schorf, eine gefährliche aber wenig bekannte Erscheinungsform des Apfelschorfs. Obstbau, 8: 470-472
- KEPPEL, H. (1995). Anbauerfahrungen mit verschiedenen resistenten Sorten unter steirischen Anbaubedingungen. 7. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg
- KERN, S., NOGA, G., DEHNE, H.-W., BÖHMER, B., HEUPEL, M., FRAHM, J. (2000). Die Rußfleckenkrankheit beim Apfel. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ Projektbereich Forschung, Herausgeber: Hoegen, B., Rhein. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- KESSMANN, H., STAUB, T., HOFMANN, C., MAETZKE, T., HERZOG, J., WARD, E., UKNES, S., RYALS, J. (1994). Induction of systemic acquired resistance in plants by chemicals. Annu. Rev. Phytopathol. 32: 439-459

- KHAN, S. H., AKED, J., MAGAN, N. (1999). The potential for anti-oxidant chemicals to control *Colletotrichum musae* on banana fruit. Med. Fac. Landbouw. Toeg. Biol. Wetenschappen, Univ. Gent 64 (3b): 531-537
- KHAN, S. H., AKED, J., MAGAN, N. (2001). Control of the anthracnose pathogen of banana (*Colletotrichum musae*) using antioxidants alone and in combination with thiabendazole or imazalil. Plant Pathol. 50: 601-608
- KIENZLE, J., SCHLACHTENBERGER, B., BERGENGRUEN, K. (1995). Zur Biologie der Rußfleckenkrankheit (*Gloeodes pomigena* (Schweinitz) Colby). 7. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg
- KILIAN, M., STEINER, U., KREBS, B., JUNGE, H., SCHNIEDEKNECHT, G., HAIN, R. (2000). FZB24® *Bacillus subtilis* – mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 1/00, 1: 72-39
- KIRÁLY, Z., EL-ZAHABY, H. M., BARNA, B. (2000). Effect of reactive oxygen species on rust and powdery mildew pathogens and on symptoms. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 35 (1-4): 239-240
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., VOLESKE, P. (1994). Biometrie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- KOLATTUKUDY, P. E., ROGERS, L. M., LI, D., HWANG, C.-S., FLAISHMAN, M. (1995). Surface signaling in pathogenesis. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92: 4080-4087
- KOLLAR, A. (1996). Evidence for loss of onotgenetic resistance of apple leaves against *Venturia inaequalis*. Europ. J. Plant Pathol. 102 (8): 773-778
- KOLLAR, A. (1997). Aktuelle Forschung an dem bedeutendsten Erreger im Apfelanbau, dem Apfelschorfpilz *Venturia inaequalis*. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 49: 131-136
- KÖLLER, W. (1994). Chemical control of apple scab – status quo and future. Norw. J. Agric. Sci. Suppl. 17: 149-170
- KÖLLER, W., WILCOX, W. F. (2001). Evidence for the predisposition of fungicide-resistant isolates of *Venturia inaequalis* to a preferential selection for resistance to other fungicides. Phytopathol. 91 (8): 776-781
- KÖLLER, W., WILCOX, W. F., BARNARD, J. (1997). Detection and quantification of resistance of *Venturia inaequalis* populations to sterol demethylation inhibitors. Phytopathol. 87: 184-190
- KOSHLA, K. THAKUR, V. S. (1998). Effects of meteorological parameters influencing pseudothecial development and maturation of *Venturia inaequalis*, the apple scab pathogen. Adv. Plant Sci. 11 (1): 119-124
- KUDO, T., TAKAHASHI, T., MIZUNO, N. (1976). Studies on apple scab (*Venturia inaequalis*) 1. Overwintering of the fungus on the bud scales. Bull. Akita Fruit Tree Exp. Stn. 8: 19-29
- KUZNIAK, E., SKLODOWSKA, M. (2001). Ascorbate, glutathione and related enzymes in chloroplasts of tomato leaves infected by *Botrytis cinerea*. Plant Sci. 160 (4): 723-731
- LAFER, G. (2000). Ausdünnung im Apfelanbau – Erfahrungen aus der Steiermark. Obstbau 4/2000: 208-213
- LANG, A., VOLZ, R. K. (1998). Spur leaves increase calcium in young apples by promotion xylem inflow and outflow. J. Am. Soc. Hort. Sci. 123: 956-960

- LATORRE, B. A. (1972). Late Season Fungicide Application to control Apple Scab. *Plant Dis.* 56 (12): 1079-1082
- LINK, H. (1969). Vom Einfluß zweier Ausdünnungsmittel auf den Blütenknospenbesatz und einige Qualitätsmerkmale der Früchte bei 'Golden Delicious'. *Obst und Garten* 5/1969: 16-17
- LINK, H. (1978). Gegenwärtiger Stand der Fruchtausdünnung, Möglichkeiten zur Ertragsregulierung und Qualitätsverbesserung beim Apfel. *Erwerbsobstbau* 20: 88-91
- LINK, H. (1981). Auswirkungen der Fruchtausdünnung auf Ertragstreue, Fruchtgröße und Stippigkeit der Früchte. *Erwerbsobstbau* 23: 104-107
- LINK, H. (1994). Blütenausdünnung mit Harnstoff. *Obst und Garten* 4/94: 154-156
- LINK, H., SCHRÖDER, M. (1997). Maschinelles Ausdünnen – der derzeitige Stand. *Obstbau* 1/97: 14-17
- LOUW, A. J. (1948). The germination and longevity of spores of the apple-scab fungus, *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.. *Union S. Afric. Sci. Bull.* 285: 19 ff.
- LOUW, A. J. (1951). Studies on the influence of environmental factors on the overwintering and epiphytology of apple scab [*Venturia inaequalis* Cke.] Wint.] in the winter-rainfall area of the Cape Province. *Union S. Afr. Dep. Agric. Sci. Bull.* 310
- LUPU, R., GROSSMANN, S., COHEN, Y. (1980). The involvement of lipoxygenase and antioxidants in pathogenesis of powdery mildew on tobacco plants. *Physiol. Plant Pathol.* 16: 241-248
- MACHARDY, W. E. (1996). *Apple Scab-Biology, Epidemiology, and Management*. APS Press, St. Paul; Minnesota, ISBN 0-89054-206-6
- MACHARDY, W. E., GADOURY, D. M. (1986). Patterns of ascospore discharge by *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 76: 985-990
- MACHARDY, W. E., GADOURY, D. M. (1989). A Revision of Mill's Criteria for Predicting Apple Scab Infection Periods. *Phytopathol.* 79 (3): 304-310
- MACHARDY, W. E., GADOURY, D. M., GESSLER, C. (2001). Parasitic and Biological Fitness of *Venturia inaequalis*: Relationship to Disease Management Strategies. *Plant Dis.* 85 (10): 1036-1051
- MACHARDY, W. E., GADOURY, D., ROSENBERGER, M. (1993). Delaying the onset of fungicide programs for control of apple scab in orchards of low potential ascospore dose of *Venturia inaequalis*. *Plant Dis.* 77: 372-375
- MANKTELOW, D., BERESFORD, R. (1993). Improved Management of Apple Black Spot. *The Orchardist* 66 (8): 59
- MARSH, R. W., WALKER, M. (1932). The scab fungus (*Venturia inaequalis*) on apple shoots. *J. Pomol. Hort. Sci.* 10: 71-90
- MAYR, U.; TREUTTER, D. (1995). Phenole und Apfelschorf. 7. Intern. Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse im ökologischen Obstanbau, Weinsberg
- MCARTNEY, S. J., TUSTIN, D. S., SEYMOUR, S., CASHMORE, W., LOONEY, N. E. (1995). Benzyladenine and carbaryl effects on fruit thinning and the enhancement of return flowering of three apple cultivars. *J. Hort. Sci.* 70 (2): 287-296
- MCKAY, R. (1938). Conidia from infected bud-scales and adjacent wood as a main source of primary infection with the apple scab fungus *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.. *Sci. Proc. R. Dublin Soc.* 21: 623-640

- MCKAY, R. (1939). Further spraying experiments for the control of apple scab in 1937 and 1938 with some observations on the disease. *Eire Agric. Dept. J.* 36: 42-72
- MCKAY, R. (1942). Apple scab and its control at Glasnevin in 1939, 1940 and 1941. *Eire J. Agric.* 39: 46-79
- MICHALEK, S.; TREUTTER, D. (1995). Resistenzinduktion durch Pflanzenpflegemittel (am Beispiel Apfel). 7. Intern. Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse im ökol. Obstanbau, Weinsberg
- MIEDTKE, U., KENNEL, W. (1990). *Athelia bombacina* and *Chaetomium globosum* as antagonists of the perfect stage of the apple scab pathogen (*Venturia inaequalis*) under field conditions. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 97: 24-32
- MILLER, H. J. (1949). Modifications of the slide-germination method of evaluating fungicides including the use of *Venturia inaequalis* and *Phytophthora infestans*. *Phytopathol.* 39: 245-259
- MILLER, P. M. (1970). Reducing discharge of ascospores of *Venturia inaequalis* with spring application of benomyl, thiabendazole or urea. *Plant Dis. Repr.* 54: 27
- MILLING, R. J., DANIELS, A. (1995). Effects of Pyrimethanil on the Infection Process and secretion of Fungal Cell wall Degrading Enzymes. *Modern Fungicides and Antifungal Compounds*: 53-59
- MILLS, W. D. (1944). Efficient use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab. *Cornell Ext. Bull* 630
- MILLS, W. D., LAPLANTE, A. A. (1951). Diseases and insects in the orchard. *Cornell Ext. Bull.* 711: 21-27
- MOORE, M. H. (1964). Glasshouse experiments in apple scab. I. Foliage infection in relation to wet and dry periods. *Ann. Appl. Biol.* 53: 423-435
- MOOSHERR, W. (1990). Untersuchungen zu superfiziellem Schorf und zu Knospenschorf (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.) beim Apfel. Dissertation Universität Hohenheim
- MOTTE, G., BURTH, U., ZIMMERMANN, U., MÜLLER, R. (1986). Die kombinierte Herbst- und Depotbehandlung gegen Apfelschorf (*Venturia inaequalis* (Cooke) Aderh.). *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz* 22: 301-308
- NIKLAS, J., KENNEL, W. (1981). The role of the earthworm, *Lumbricus terrestris* (L) in removing sources of phytopathogenic fungi in orchards. *Gartenbauwissenschaft* 46: 138-142
- NOGA, G., ENGEL, G. (1986). Chemische Ausdünnung von Äpfeln mit Hilfe von Netzmitteln – neue Ansätze für die Praxis? *Erwerbsobstbau* 28: 141-143
- NOGA, G., SCHMITZ, M. (2000). Tocopherol and its potential for improving fruit quality in apple. *Acta Hort.* 527: 111-117
- NORTHOVER, J., SCHNEIDER, K. E. (1993). Activity of plant oils and diseases caused by *Podosphaera leucotricha*, *Venturia inaequalis*, and *Albugo occidentalis*. *Plant Dis.* 77 (2): 152-157
- ORTEGA, F. (1999). Einfluß induzierter Resistenz auf die Wirt-Parasit-Interaktion *Malus x Domestica* Borkh. – *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.. Dissertation Universität Bonn
- ORTEGA, F., STEINER, U., DEHNE, H.-W. (1998). Induced Resistance to Apple Scab: Microscopic Studies on the Infection Cycle of *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. *J. Phytopathol.* 146: 399-405



- PALANI, V., LALITHAKUMARI, D. (1999). Antagonism of *Trichoderma longibrachiatum* strains to fungicide-sensitive and -resistant strains of *Venturia inaequalis*. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz 106: 581-589
- PALANI, V., LALITHAKUMARI, D. (1999). Inhibition of *Venturia inaequalis* by genetically improved *Trichoderma longibrachiatum* strains. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz 106: 460-465
- PALM, G. (1994). Bekämpfung wichtiger pilzlicher Krankheiten im Apfelanbau. Obstbau 3/94: 130-133
- PALM, G. (1995). Versuche zur Bekämpfung des Schorfpilzes mit Kupferpräparaten. Rheinische Monatsschrift 3/95
- PALMITER, D. H. (1946). Ground treatments as an aid in apple scab control. N. Y. Agric. Exp. Stn. Bull. 714
- PALZKILL, D. A., TIBBITTS, T. W., WILLIAMS, P. H. (1976). Enhancements of calcium transport to inner leaves of cabbage for prevention of tipburn. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101: 645-648
- PARISI, L., LESPINASSE, Y. (1996). Pathogenicity of *Venturia inaequalis* Strains of Race 6 on Apple Clones (*Malus* sp.). Plant Dis. 80: 1179-1183
- PARISI, L., LESPINASSE, Y., GUILLAUMES, J., KRÜGER, J. (1993). A New Race of *Venturia inaequalis* Virulent to Apples with Resistance due to the Vf Gene. Phytopathol., 83: 533-537
- PFEIFFER, B. (1995). Vergleich verschiedener Zusätze zu Netzschwefel bei der Schorf-Bekämpfung nach der Blüte. 7. Intern. Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse im ökologischen Obstbau, Weinsberg
- POLOMSKI, R. F., BARDEN, J. A., BYERS, R. E., WOLF, D. D. (1988). Apple fruit nonstructural carbohydrates and abscission as influenced by shade and terbacil. J. Americ. Soc. Hort. Sci. 113: 506-511
- PORTZ, C., SCHMITZ-EIBERGER, M., STEINER, U., NOGA, G. (2002). Einfluss eines tocopherolhaltigen Antioxidantien-Präparates auf die Entwicklung von *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.. Mitt. Biol. Bundesanstalt Land-Forstwirtschaft, Berlin-Braunschweig, Parey Buchverlag, Heft 390
- PRIOR, S. L., CUNCLIFFE, B. W., ROBSON, G. D., TRINCI, A. P. J. (1993). Multiple isomers of phosphatidyl inositol monophosphate and inositol bis- and triphosphates from filamentous fungi. FEMS-Microbiology-Letters 110 (2): 147-152
- PROCTOR, J. T. A., PALMER, J. W. (1991). The role of spur and bourse leaves of three apple cultivars on fruit set and growth and calcium content. J. Hort. Sci. 66: 275-282
- RAW, F. (1962). Studies of earthworm populations in orchards. I. Leaf burial in apple orchards. Ann. Appl. Biol. 50: 389-404
- ROBERTS, A. L., CRUTE, I. R. (1994). Apple scab resistance from *Malus floribunda* 821 (Vf) is rendered ineffective by isolates of *Venturia inaequalis* from *Malus floribunda*. Norw. J. Agric. Sci. 17: 403-406
- ROBINSON, C. H. (2001). Cold adaption in Arctic and Antarctic fungi. New Phytologist 151(2): 341-353
- ROOSJE, G. S. (1955). Laboratoriumonderzoek over de biologie en de bestrijding van de *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.. Med. Direct van de Tuinbouw 18: 139-151
- ROOSJE, G. S. (1963). Research on apple and pear scab in the Netherlands from 1938 until 1961. Neth. J. Plant Pathol. 69: 132-137

- ROSSI, V., PONTI, I., MARINELLI, M., GIOSUÈ, S., BUGIANI, R. (2001). Environmental Factors Influencing the Dispersal of *Venturia inaequalis* Ascospores in the Orchard Air. *J. Phytopathol.* 149: 11-19
- RÜEGG, J., TAMM, L. (1997). IP- und Bio-Apfelanbau: ein Vergleich, 8. Krankheitsregulierung, Schweiz. Z. Obst-Weinbau 18/97
- SALMON, E. S., WARE, W. M. (1931). A new fact in the life-history of the apple scab fungus. *Gardener's Chronicle* 89: 437-438
- SCHMITZ, M., NOGA, G. (1995). Einsatz von Vitamin E im Obstbau zur Minderung oxidativen Stresses und Förderung der Fruchtqualität. 7. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg: 35-39
- SCHMITZ, M., NOGA, G. (1998).  $\alpha$ -Tocopherol reduces environmental stress and improves fruit quality. *Acta Hort.* 466: 89-94
- SCHMITZ-EIBERGER, M., NOGA, G. (2001). Reduction of paraquat-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* and *Malus domestica* leaves with  $\alpha$ -tocopherol. *Sci. Hort.* 91: 153-167
- SCHOLZ, K. P., HELM, H.-U. (2001). Die Stickstoffernährung beim Apfel – 2. Teil: Erfassung des N-Versorgungszustandes und Düngungsmaßnahmen. *Erwerbsobstbau* 43: 7-14
- SCHÖNBECK, F., STEINER, U., KRASKA, T. (1993). Induzierte Resistenz: Kriterien, Mechanismen, Anwendung und Bewertung. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 100: 541-557
- SCHRÖDER, M. (2001). Bedeutung und Wirkungsweise chemischer Ausdünnungsmittel beim Apfel am Beispiel von Ammoniumthiosulfat, Benzyladenin und Harnstoff. Dissertation Universität Hohenheim, Stuttgart
- SCHÜLER, P. (1995). Versuch einer Beurteilung ausgewählter Pflanzenpflege- und Pflanzenstärkungsmittel aufgrund einer Literaturrecherche. 7. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg
- SCHUMACHER, R. (1989). Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze. 3. Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart
- SCHUMACHER, R., FANKHAUSER, F., STADLER, W. (1980). Influence of shoot growth, average fruit size and daminozide on bitter pit. Mineral nutrition of fruit trees, Butterworths, London: 83-91
- SCHUMACHER, R., NEUWEILER, R., STADLER, W. (1993 A). Einfluss der Fruchtausdünnung auf Fruchtansatz, Frucht- und Triebwachstum. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 129: 421-426
- SCHUMACHER, R., NEUWEILER, R., STADLER, W. (1993 B). Einfluss unterschiedlicher Fruchtausdünnung auf Ertrag und Fruchtqualität. *Schweiz. Z. für Obst-Weinbau* 129: 510-514
- SCHUMACHER, R., STADLER, W. (1991). Fruchtausdünnung bei Elstar. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 127: 761-770
- SCHUMACHER, R., TSCHARNER, S., STADLER, W. (1987). Junifruchtfall, Triebwachstum, Mineralstoffgehalt der Früchte in Abhängigkeit der Blattmasse. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 123: 183-191
- SCHUSTER, G., JIANG, S., HAN, X., QI, J. (1995). Verminderung der Zahl der Lokalläsionen des Tabakmosaik-Virus durch Sojalecithin und 5-Azadihydrouracil. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 102 (5): 536-539
- SCHWABE, W. F. S. (1979). Changes in the scab susceptibility of apple leaves as influenced by age. *Phytophylactica* 11: 53-56

- SCHWABE, W. F. S. (1980). Wetting and temperature requirements for apple leaf infection by *Venturia inaequalis* in South Africa. *Phytophylactica* 12: 69-80
- SCHWABE, W. F. S., JONES, A. L., JONKER, J. P. (1984). Changes in the susceptibility of developing apple fruit to *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 74: 118-121
- SELBY, A. D. (1910). A brief handbook of the diseases of cultivated plants in Ohio. *Ohio Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 214: 371
- SHEAR, C. B. (1980). Interactions of nutrition and environment on mineral composition of fruits. In: D. Atkinson, J. E. Jackson, R. O. Sharples and W. M. Waller (Editors), *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworths, Sevenoaks: 41-50
- SMITH, F. D., PARKER, D. M., KÖLLER, W. (1991). Sensitivity distribution of *Venturia inaequalis* to the sterol demethylation inhibitor flusilazole: Baseline sensitivity and implications for resistance monitoring. *Phytopathol.* 81: 392-396
- SPOTTS, R. A., FERREE, D. C. (1979). Photosynthesis, transpiration, and water potential of apple leaves infected by *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 69: 717-719
- STADLER, W., BERTSCHINGER, L. (1998). Ausdünnungsmaschine: neue Versuchsergebnisse. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 6/98: 166-167
- STEINER, U. (1990). Charakterisierung der biologisch aktiven Komponenten des Resistenz induzierenden Kulturfiltrates von *Bacillus subtilis*. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 226: 292
- STEINER, U., OERKE, E.-C. (2001). The role of melanin in the infection process of *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 91: 85
- STENSVAND, A., AMUNDSEN, T. (2000). Evaluation of three copper fungicides against apple scab. *Tests of Agrochemicals and Cultivars* 21: 3-4
- STENSVAND, A., AMUNDSEN, T., SEMB, L. (1996). Observations on wood scab caused by *Venturia inaequalis* and *V. pirina* in apple and pear in Norway. *Norw. J. Agric. Sci.* 10 (4): 533-540
- STENSVAND, A., AMUNDSEN, T., SEMB, L., GADOURY, D. M., SEEM, R. C. (1998). Discharge and dissemination of ascospores by *Venturia inaequalis* during dew. *Plant Dis.* 82: 761-764
- STENSVAND, A., GADOURY, D. M., AMUNDSEN, T., SEMB, L., SEEM, R. C. (1997). Ascospore Release and Infection of Apple Leaves by Conidia and Ascospores of *Venturia inaequalis* at Low Temperatures. *Phytopathol.* 87 (10): 1046-1053
- STEWART, F. C., BLODGETT, F. H. (1899). A fruit-disease survey of the Hudson Valley in 1899. *N. Y. Agric. Exp. Stn. Bull.* 167
- STICHER, L., MAUCH-MANI, B., MÉTRAUX, J. P. (1997). Systemic acquired resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35: 235-270
- STIERL, R. (1999). Vergleichende Untersuchungen zur Wirkungsweise Induzierter Resistenz. *Dissertation Universität Bonn*
- STIERL, R., STEINER, U., ORTEGA, F., DEHNE, H.-W. (1997). Effects of induced resistance on different host-parasite interactions. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* 62(3B): 1009-1013
- STOCKERT, T. (1995). Untersuchungen über die Blütenqualität beim Apfel. *Dissertation Universität Hohenheim, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart*

- STOCKERT, T., STÖSSER, R. (1996). Blütenqualität und Ertrag beim Apfel. *Erwerbsobstbau* 38: 170-173
- STRAUB, M. (1995). Ausgewählte Ergebnisse einer zweijährigen Leistungsprüfung biologischer Pflanzenbehandlungsmittel an Apfelbäumen. 7. Internationaler Erfahrungsaustausch über Forschungsergebnisse zum ökologischen Obstbau, Weinsberg
- STREITBERG, H. (1980). Die Blütenqualität bei Apfelbäumen - ein Kriterium für den Fruchtansatz. *Gartenbau* 27 (3): 83-85
- SÜßMUTH, R., EBERSPÄCHER, J., HAAG, R., SPRINGER, W. (1999). Mikrobiologisch-Biochemisches Praktikum. 2. völlig überarbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- SUTTON, D. K. (1992). A potential role for orchard sanitation in the management of apple scab (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.) M.S. thesis. University New Hampshire, Durham, NH.: 91 Seiten
- SUTTON, D. K., MACHARDY, W. E. (1993). The reduction of ascospore inoculum of *Venturia inaequalis* by orchard sanitation. (Abstr.) *Phytopathol.* 83: 247
- SUTTON, D. K., MACHARDY, W. E., LORD, W. G. (2000). Effects of shredding or treating leaf litter with urea on ascospore dose of *Venturia inaequalis* and disease buildup. *Plant Dis.* 84 (12): 1319-1326
- SUTTON, T. B. (1990). Sooty blotch and fly speck. In: Compendium of apple and pear diseases, APS Press St. Paul: 20-22
- SUTTON, T. B., JONES, A. L., NELSON, L. A. (1976). Factors affecting dispersal of conidia of the apple scab fungus. *Phytopathol.* 66: 1313-1317
- TAIZ, L., ZEIGER, E. (2000). Physiologie der Pflanzen. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- TAMAS, I. A. (1995). Hormonal regulation of apical dominance. In: Plant Hormones 1995. Davies, P. J. (ed.). Kluwer Academic Publisher, Netherlands: 572-597
- THAKUR, V. S., SHARMA, R. D. (1999). Effect of urea on microbial degradation of apple leaf litter and its relationship to the inhibition of pseudothecial development of *Venturia inaequalis*. *Indian J. Agric. Sci.* 69 (2): 147-151
- TOMERLIN, J. R., JONES, A. L. (1983). Effect of temperature and relative humidity on the latent period of *Venturia inaequalis* in apple leaves. *Phytopathol.* 73: 51-54
- TRÄNKNER, A., KIRCHNER-BIERSCHENK, R. (1988). Vorläufige Ergebnisse bei der Bekämpfung des Apfelschorfes durch Extrakte aus kompostierten organischen Materialien. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 53:359-362
- TRILOFF, P. (1999). Elf Jahre biologisch-orientierte Schorfbekämpfung – Mehr als Blattnäse und Temperatur -. *Obstbau* 4/94
- TSUBA, M., KATAGIRI, C., TAKEUCHI, Y., TAKADA, Y., YAMAOKA, N. (2002). Chemical factors of the leaf surface involved in morphogenesis of *Blumeria graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 60: 51-57
- TUCKER, S. L., TALBOT, N. J. (2001). Surface attachment and pre-penetration stage development by plant pathogenic fungi. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 385-417

- TURNER, M. L., MACHARDY, W. E., GADOURY, D. M. (1986). Germination and appressorium formation by *Venturia inaequalis* during infection of apple seedling leaves. *Plant Dis.* 70: 658-661
- URBANIETZ, A., DUNEMANN, F., FISCHER, C., LESPINASSE, Y. (1999). D.A.R.E.- Ein Projekt europäischer Apfelmzüchter zur Schaffung dauerhafter Resistenzen gegen Schorf und Mehltau. *Erwerbsobstbau* 41: 198-201
- VAITKUNIENE, V., CESNIENE, T., BALCIUNIENE, L. BARYSAS, D., VAISNIENE, V., RANCELIS, V. (1997). Immunodeficiency of barley allelic mutants tweeky spike. 4. Action of thiolic compounds and ascorbic acid on the frequency of mouldy grains. *Biologija* 2: 6-11
- VALSANGIACOMO, C., GESSLER, C. (1988). Role of the cuticular membrane in ontogenetic and Vf-resistance of apple leaves against *Venturia inaequalis*. *Phytopathol.* 78: 1066-1069
- VAN DER BOON, J. (1980). Prediction and control of bitter pit in apples. I. Prediction based on mineral leaf composition, cropping levels and summer temperatures. *J. Hort. Sci.* 55 (3): 307-312
- VAN DER SHEER, H. A. T. (1980). Thresholds of economic injury for apple powdery mildew and scab. In: *Integrated Control of Insect Pests in the Netherlands*. Minks, A. K., Guys, P. (eds.), Pudoc, Wageningen: 49-52
- VANACKER, H., CARVER, T. L. W., FOYER, C. H. (1998). Pathogen-induced changes in the antioxidant status of the apoplast in barley leaves. *Plant Physiol.* 117, 1103-1114
- VENISSE, J. S., GULLNER, G., BRISSET, M. N. (2001). Evidence for the involvement of an oxidative stress in the initiation of infection of pear by *Erwinia amylovora*. *Plant Physiol.* 125 (4): 2164-2172
- VOLZ, R. K., FERGUSON, I. B. (1999). Flower thinning method affects mineral composition of ‚Braeburn‘ and ‚Fiesta‘ apple fruit. *J. Hort. Sci. & Biotechn.* 74 (4): 452-457
- VON GÖNNER, M., SCHLÖSSER, E. (1992). Effect of radical scavengers on pathogenesis in the host-parasite-system *Avena sativa* – *Drechslera avenae*. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 99 (6): 617-625
- WAGNER, E., BURHARDT, M., NORMANN, J., GLATZLE, D., BAUSCH, J. (1998). Influence of exogenous application of  $\alpha$ -tocopherol acetate on flowering, stem elongation rate and endogenous vitamin E status in *Chenopodium rubrum* L.. In: *Internat. Workshop on Antioxidants in Higher Plants: Biosynthesis, characteristics, actions and specific functions in stress defence*. Noga, G., Schmitz, M. (eds.). Shaker Press, Aachen: 130
- WANG, S. Y., TZENG, D. D. S. (1998). Methionine-riboflavine mixtures with surfactants and metal ions reduce powdery mildew infection in strawberry plants. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* 123 (6): 987-991
- WEBSTER, A. D., SPENCER, J. E. (1999). New strategies for the chemical thinning of apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars Queen Cox and Royal Gala. *J. Hort. Sci. & Biotechn.* 74: 337-346
- WENINGER, F., WURM, F. (1998). Auswirkungen verschiedener Schnittvarianten auf Wachstum und Blütenknospenansatz bei den Apfelsorten *Jona-gold* und *Golden Delicious*. *Mitt. Klosterneuburg* 48: 172-178
- WESTWOOD, M. N., BILLINGSLEY, H. D. (1967). Cell Size, Cell Number, and Fruit Density of Apples as Related to Fruit Size, Position in Cluster, and Thinning Method. *Proc. Americ. Soc. Hort. Sci.* 91: 51-62

- WIDMER, A., WEIBEL, F. (1997). IP- und Bio-Apfelanbau: ein Vergleich, 1. Grundsätze und Umfeld. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 1/97: 27-28
- WIESMANN, R. (1932). Untersuchungen über die Überwinterung des Apfelschorfpilzes *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fckl. im toten Blatt sowie die Ausbreitung der Sommersporen (Konidien) des Apfelschorfpilzes. Landw. Jahrb. Schweiz. 36: 620-679
- WILLIAMS, M. W. (1979). Chemical Thinning of Apples. Hort. Rev. 1: 270-300
- WINKELMANN, A., HOLZ, W., JAENICHEN, H. (1937). Beiträge zur Biologie und Bekämpfung des Apfelschorfes (*Fusicladium dendriticum* [Wallr.] Fckl.). III. Mitt. Zentralbl. f. Bakt. Abt. II. 96: 177-191
- WINTER, F., JANSSEN, H., KENNEL, W., LINK, H., SCHERR, F., SILBEREISEN, R., STREIF, J. (1992). Lucas' Anleitung zum Obstbau. 31., neubearb. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8001-5534-6
- WITNEY, G. W., KUSHAD, M. M., BARDEN, J. A. (1991). Induction of bitter pit in apple. Sci. Hort. 47: 173-176
- WÖLFEL, D., SCHMITZ, M., NOGA, G. (1998). Reduction of paraquat-induced oxidative stress by vitamin E in *Phaseolus vulgaris* and *Malus domestica*. In: Internat. Workshop on Antioxidants in Higher Plants: Biosynthesis, characteristics, actions and specific functions in stress defence. Noga, G., Schmitz, M. (eds.). Shaker Press, Aachen: 131
- ZYDLIK, Z., PACHOLAK, E. (1997). Effect of nitrogen fertigation on mineral element content in 'Shampion' and 'Golden Delicious' leaves and fruits. International Seminar: „Ecological aspects of nutrition and alternatives for herbicides in horticulture“. Warschau-Ursynów, Poland: 83-84