



Neue Methoden zur Bekämpfung des Echten Mehltaus im Ökologischen Landbau

Herausgeberin:

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
53168 Bonn

Tel.: +49 228 6845-280 (Zentrale)

Fax: +49 228 6845-787

E-Mail: geschaeftsstelle-oekolandbau@ble.de

Internet: www.bundesprogramm-oekolandbau.de

Finanziert vom Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Auftragnehmer:

Institut für Pflanzenernährung und
Institut für Gartenbauwissenschaften
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Neue Methoden zur Bekämpfung des Echten Mehltaus im Ökologischen Landbau

Schlussbericht Projekt Nr. 02OE251

BearbeiterInnen: Dipl.GeoÖk. E. Steinke¹, Prof.Dr.H.E.Goldbach¹, Dr. J. Burkhardt¹,
Dr.rer.hort. A.Ulbrich², Dr. Sabine Meyer², Prof.Dr. G. Noga²,
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn:

¹Institut für Pflanzenernährung, Karlrobert-Kreiten-Str. 13, 53115 Bonn

²Institut für Gartenbauwissenschaften, Auf dem Hügel 6, 53121 Bonn

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Es sollten neue Mehltau-Bekämpfungsmaßnahmen im Gemüseanbau auf Basis der Richtlinien des ökologischen Landbaus (Bioland, Naturland) mit dort zulässigen Wirksubstanzen entwickelt und optimale Verfahrenskombinationen ermittelt werden.

Die Maßnahmen basieren auf Erkenntnissen, wonach Lösungen verschiedener Salze/Minerale oft die gleiche Wirksamkeit aufwiesen wie systemische organische Fungizide. Die zugrunde liegenden Vorgänge von Benetzung und Ionenaufnahme auf Blattoberflächen wurden am Institut für Pflanzenernährung (vormals: Agrikulturchemisches Institut) der Universität Bonn bzw. am Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung und den Abteilungen Agrarökologie und Meteorologie der Universität Bayreuth bereits detailliert untersucht. Die dort gewonnenen Ergebnisse führ(t)en zu einem vertieften Verständnis der zugrunde liegenden Vorgänge. Am Institut für Obstbau und Gemüsebau wurde untersucht, welchen Einfluß die Klimasteuerung auf Befall, Entwicklung und Vermehrung echter Mehltaupilze (*Sphaerotheca fuliginea* und *Erysiphe cichoracearum*) an Gurken ausübt.

Die nunmehr anstehende *Umsetzung* der wissenschaftlichen Erkenntnisse erlaubt eine neuartige Kombination von Düngung und Pflanzenschutz. Diese Kombination kann auch für den integrierten Anbau und die Bekämpfung anderer parasitärer Pilzkrankheiten interessant werden, insbesondere von ektoparasitären Krankheiten. Die Maßnahmen beinhalten die Kombination verschiedener Salze, auch die Überprüfung der Kombination mit Pflanzenextrakten (Staudenknöterich).

Die zuverlässige Mehltaubekämpfung ist insbesondere für Sonderkulturen wie Gurken und Tomaten wichtig. Dabei kommt es aber vor allem im ökologischen Landbau immer wieder zu Problemen, da eine Bekämpfung durch Resistenzzüchtung gerade bei Mehltau durch die ständige Bildung neuer und z.T. aggressiverer Pathotypen erschwert wird.

Basierend auf Untersuchungen von Reuveni und MA (s. Anhang) sollten daher Lösungen verschiedener Salze, ggf. in Kombination mit pflanzlichen Extrakten, hinsichtlich ihrer Wirkung gegen echte Mehltaupilze an Gurken und Tomaten untersucht werden. Begleitende Auswertung von REM - Aufnahmen sollen die vermutlich verschiedenen Wirkungsmechanismen weiter verifizieren, basierend auf einer vertieften Kenntnis der Transport- und Lösungsprozesse auf Blattoberflächen (s. div. Arbeiten von Burkhardt et al.).

1.1. Planung und Ablauf des Projektes

Im ersten Jahr des Versuchszeitraums war die fungizide Wirksamkeit verschiedener Salze bzw. Extrakte in unterschiedlichen Konzentrationen an Gewächshaus-Gurken zu bestimmen. Dabei waren auch Mischungen aus 2 oder 3 Komponenten in unterschiedlichen Konzentrationen hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Echten Mehltau zu bekämpfen, zu untersuchen. Als Versuchsbeginn war der 01.06.02 geplant.

Soll: (Laut Arbeitsplan geplante Arbeitsschritte während des abgelaufenen Berichtszeitraums):

In einem Gewächshaus mit Klimasteuerung (Temperatur/Feuchteregulierung) sollte an einem Gurkenbestand die fungizide Wirkung verschiedener Salze bzw. Salzmischungen untersucht werden.

Tab. 1: Liste der im Vorhaben einzusetzenden Salze

Verbindung-Nr.	Verbindung / Salz
1	Patentkali
2	Kalirohsalze (überwiegend KCl/NaCl)
3	MnCl ₂ in Kombination mit geringen Mengen S
4	Knöterichextrakt
5 a	Kontrolle ohne Behandlung
5 b	Kontrolle mit CaCl ₂

Nach Salzapplikation erfolgte die Inokulation mit Sporen des Echten Mehltau. Die Entwicklung des Pilzbefalls wurde durch regelmässige Bonitur erfasst.

Die Ergebnisse der Bonitur lieferten die Grundlage für die Auswahl der Behandlungsvarianten für die Freilanduntersuchungen des zweiten Versuchsjahres.

Nährstoffanalysen der untersuchten Pflanzen sollten Aufschluss geben über die Nährstoff - Aufnahmeraten aus der Blattapplikation der verschiedenen Salze.

An Einzelpflanzen sollten in Gewächshausuntersuchungen mittels RESI – Sensorik mikroklimatische Parameter gemessen werden, um das Auftreten von Mikrobenetzung der Blattoberflächen zu ermitteln.

Die Hyphenentwicklung der Mehltausporen war am REM begleitend zu visualisieren, um Aufschluss über unterschiedliche Wirkungsweisen zu erhalten.

Ist (tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte, aufgetretene Schwierigkeiten):

In einem der Gewächshäuser des Versuchsgutes „Marhof“ wurden in einem schon bestehenden Gurkenbestand die oben erwähnten Salze in den zu untersuchenden Konzentrationen aufgebracht. Es handelte sich dabei um 32 Salzvarianten mit jeweils 6 Pflanzen pro Variante. Die Bonitur des Befallsverlaufs fand im Abstand von jeweils zwei Wochen statt. Es wurde die befallene Blattfläche (in %) nach Blattetagen getrennt bewertet. Der Infektionsdruck innerhalb des Gewächshauses wurde mit einer Sporenfalle ermittelt.

Mittels Nährstoffanalysen wurden die Blattgehalte an den Hauptnährstoffen N, P, K, sowie Ca, Mg und Mn bestimmt. Der Nachweis von N erfolgte mittels einer modifizierten Kjeldahl - Methode, Mg wurde am AAS gemessen, die anderen Nährstoffe mittels Flammenphotometrie bestimmt.

Diejenigen Behandlungsvarianten, die statistisch relevanten Reduktionserfolg der Pilzentwicklung bei gleichzeitig keiner oder geringer Nekrotisierung der Blätter zeigten, wurden ermittelt. Mit diesen Salzen bzw. Salzmischungen wurde an ausgewählten Einzelpflanzen in Klimakammerversuchen Untersuchungen zur Mikrobenetzung durchgeführt.

Gleichzeitig wurde nach Inokulation mit Sporen des Echten Mehltaus die Hyphenentwicklung täglich mittels REM elektronenoptisch visualisiert und Unterschiede in Ausbildung und Wachstum der Keimhyphen dokumentiert.

Vergleich zwischen Soll und Ist

Entgegen dem genehmigten Projektbeginn konnte mit den Arbeiten erst ab 01.08.02 angefangen werden, da sich durch Verwaltungs- bzw. rechtliche Probleme Verzögerungen ergaben. Es wurde jedoch freundlicherweise ein schon bestehender mehltauanfälliger Gurkenbestand unbürokratisch vom Versuchsgut Marhof zur Verfügung gestellt.

Im Unterschied zur Planung konnte auf die Inokulation mit Sporen des Echten Mehltaus verzichtet werden, da sich im Bestand ab Anfang August spontan gleichmäßige Infektion einstellte.

Die für die rastermikroskopischen Untersuchungen ausgewählten Einzelvarianten wurden dementsprechend auch vor Salzbelegung mit Echtem Mehltau inokuliert. Eine zweite, zusätzlich angesetzte Untersuchungsreihe mit Salzbelegung vor Infektion steht noch aus, da der erste Ansatz aufgrund mangelnder Infektiosität der eingesetzten Sporen keinerlei Mehltauentwicklung aufwies. Die mangelnde Infektiosität ist wahrscheinlich auf die Einwirkung zu großer Kälte (Anfang Feb.03) beim Sporentransport zurückzuführen, da die Wirtspflanzen der Mehltauerhaltungskultur durchaus infiziert waren. Es existiert bereits eine neue Ansaat Gurkenpflanzen, die in Kürze zu Versuchszwecken zur Verfügung stehen wird, so daß dies noch mit dem zeitlichen Rahmen des Arbeitsplans zu vereinbaren ist.

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Konidiosporen des Echten Mehltaus keimen bereits bei niedrigen relativen Luftfeuchten, wobei der Mechanismus des Initial-Wachstums noch nicht vollständig geklärt ist. Durch tropfbares Wasser werden Konidien sogar geschädigt. Die Bekämpfung durch Resistenzzüchtung wird durch ständig neue Pathotypen erschwert. Eine zuverlässige Mehltaubekämpfung ist insbesondere für Sonderkulturen (hoher Deckungsbeitrag!) wichtig. Beispielsweise ist die Erzeugung von Gurken im Ökologischen Landbau stark durch Mehltaubefall beeinträchtigt.

Bislang sind im Ökologischen Landbau folgende Mittel zur Mehltaubekämpfung zugelassen:

- Lecithin
- Gesteinsmehl
- Natriumhydrogencarbonat
- Schwefel (problematisch durch Auftreten von Verbrennungen während der Vegetationszeit)
- Schachtelhalmbrühe
- Konzentrat aus Staudenknöterich (*Reynoutria sachalinensis*)

In einer Reihe von Untersuchungen haben REUVENI und Mitarbeiter die Wirksamkeit von Salzen für Prophylaxe und Bekämpfung von Mehltauinfektionen beschrieben und an verschiedenen Obst- und Gemüsekulturen getestet. Die Wirksamkeit war dabei mit der von industriell hergestellten Fungiziden vergleichbar. Diese Wirkung konnte mit verschiedenen Salzen bzw. Verbindungen erreicht werden (s. Tabelle 1). Der Wirkungsmechanismus konnte von den Autoren nicht vollständig geklärt werden: Dem rein physikalischen Effekt (Pilzsporen bzw. Keimmycel und hygroskopische Salze konkurrieren auf dem Blatt um Wasser) stehen Hinweise auf eine systemische Wirkung gegenüber (REUVENI & REUVENI, 1995b; REUVENI *et al.*, 1997). Die Wirkung von Borsäure erklärt sich dabei aus ihrer toxischen Wirkung auf Pilze (GOLDBACH 1997).

Tabelle 1: Untersuchungen zur Mehлтаubekämpfung mit Düngesalzen:

Kultur	Salzlösung	Literatur
Gurke	H ₃ BO ₃ , CuSO ₄ , MnCl ₂	REUVENI <i>et al.</i> , 1997
Gurke	Phosphate und Kalisalze	REUVENI <i>et al.</i> , 1995, 1996
Wein	Phosphate (NPK)	REUVENI & REUVENI, 1995a
Nektarine, Mango, Wein	Phosphate (NPK)	REUVENI & REUVENI, 1995b
Rosen	Phosphate (NPK)	REUVENI <i>et al.</i> , 1994

Die systemische Wirkung von Borsäure hängt dabei ab von der artspezifischen Mobilität des Elementes B in den verschiedenen Pflanzen (BROWN & SHELP, 1997). Weiterhin führt die Beaufschlagung von Blattoberflächen mit hygroskopischen Partikeln zur Ausbildung von Mikrobenetzung (BURKHARDT & EIDEN 1994), in der überwiegend auf der Oberfläche ein "Kriechen" der Lösung und eine Ausbreitung auch auf die nicht von den Salzen getroffenen Teile erfolgt. Es handelt sich wahrscheinlich nur um eine "quasi"-systemische Wirkung (was allerdings bezüglich des Erfolges gleichgültig ist).

Bisher werden von Biolandbetrieben zur Mehлтаubekämpfung Schachtelhalnbrühe oder auch Gesteinsmehl appliziert. Die positive Wirkung wird überwiegend einer allgemeinen Stärkung der Pflanze durch das Substrat zugeschrieben. Gelegentlich wird auch dem Silikat eine hemmende Wirkung auf das Wachstum von Mehltauhyphen zugeordnet, die Effizienz von extern appliziertem oder über die Wurzel verabreichtem Substrat (z.B. mittels Natronwasserglas) wird jedoch recht unterschiedlich beurteilt und ist insbesondere in Sonderkulturen nicht in ausreichendem Maße zuverlässig.

Der Kenntnisstand zur Entwicklung pathogener Pilze auf der Pflanzenoberfläche wurde von TUCKER und TALBOT (2001) zusammengefasst. Beschrieben wurde zwar eine Vielfalt an Infektionsstrukturen und -strategien, detaillierte Untersuchungen liegen jedoch nur für sehr wenige Wirt-Parasit-Systeme vor. Ein vorläufiges Anhaften der Sporen erfolgt durch hydrophobe Interaktionen (1994), anschließend kann adhäsives Material durch die Sporen abgegeben werden. Die Appressorienbildung kann dabei durch die Hydrophobizität des Substrates beeinflusst werden (LEE und DEAN, 1994, PERFECT *et al.*, 1999, DEISING *et al.* 2002). Die Orientierung der Keimschläuche auf der Pflanzenoberfläche erfolgt durch chemische oder strukturelle Signale, wobei pilzliche Zellwandproteine (Integrine) die Reizperzeption vermitteln (CORRÊA *et al.* 1996). Es ist daher vorstellbar, dass auf der Blattoberfläche befindliche Salze eher unspezifisch auf mehrere dieser Prozesse wirken, durch Hygroskopizität (Ausnahme: B(OH)₃), ionische Effekte und Veränderung der initialen Prozesse der Anheftung.

Wegen der vermutlich stärker unspezifischen Wirkungsweise kommen potentiell auch die im Ökologischen Landbau erlaubten Salze (Kaliohsalze, Patentkali, Natriumhydrogenkarbonat, Spurenelementdünger) für eine Bekämpfung in Frage. Von diesen wird derzeit nur Natriumhydrogenkarbonat im Pflanzenschutz eingesetzt. Patentkali in Pulverform („Hederich-Kainit“) wurde von der AG KÖPKE (mdl. Mittlg.) in langjährigen Versuchen erfolgreich zur Kontrolle von *Vicia hirsuta* in Wintergetreide verwendet, woraus sich je nach Applikationszeitpunkt synergistische Effekte für die Mehltaukontrolle ergeben hatten. Knöterichextrakt (Milana) alleine ergab gegenüber Salzen in mehreren Studien keine ausreichende Wirksamkeit (s. z.B. PASINI *et al.* 1997).

Ein Hinweis auf die Wirkung von Salzen lässt sich auch aus Arbeiten von ULBRICH (1999) am Institut für Obstbau ableiten (Versuche wurden z.T. bereits an der Univ. Hannover durchgeführt, s. ULBRICH und SMOLKA 1994). Die Gruppe konnte feststellen, dass sich u.a. Wärme- und

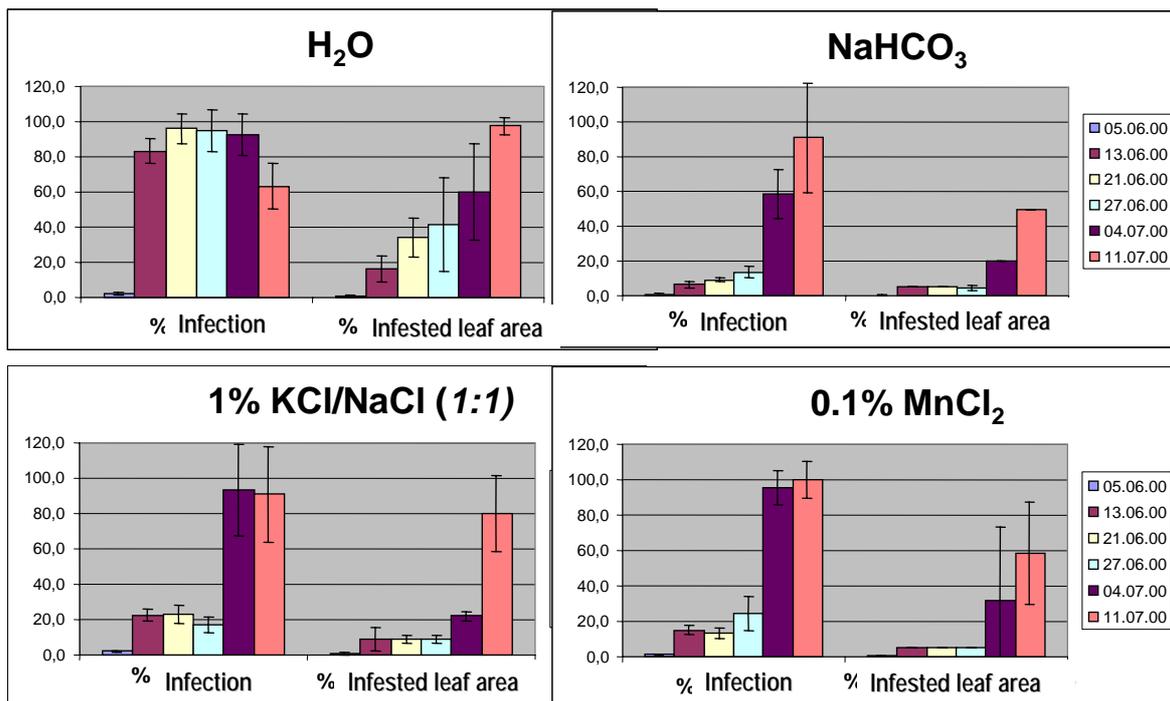
Feuchteregelung im Haus auf Befallsgrad und Befallsverlauf auswirken. Die beobachteten Wirkungen waren dabei zunächst nicht immer erklärbar, durch Einbeziehung der genaueren Betrachtung von Prozessen auf der Blattoberfläche durch die Gruppe Burkhardt und Goldbach lassen sich jedoch nunmehr die Wirkungen in der laminaren Grenzschicht erfassen, die Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren beschreiben und gezielte Bekämpfungsstrategien entwickeln.

Insbesondere über den Vorgang der Keimung von Konidiosporen Echter Mehltäupilze liegen überwiegend nur beschreibende Informationen vor, wobei die Existenz makroskopisch nicht wahrnehmbarer Blattbenetzung (Burkhardt und Eiden 1994) über oft mehr als 70% der gesamten Zeit als ein möglicherweise entscheidender Prozess bislang kaum beachtet wurde. Ferner wurde zwar die Wirkung von elementarem Schwefel als Fungizid in einer großen Zahl an Veröffentlichungen beschrieben und entsprechend erfolgt auch ein Einsatz im organischen wie auch im konventionellen Anbau, die Bedeutung der S - Oxidation auf Blattoberflächen und ihre Abhängigkeit vom Vorhandensein bivalenter Metall- Kationen (Mn^{2+} , Fe^{2+}) wurde jedoch ebenso kaum beachtet (Burkhardt 1995). Diese Reaktion dürfte durch eine starke pH -Senkung der Oberflächenlösungen der entscheidende Mechanismus für die fungizide Wirkung von S sein, erklärt allerdings auch die Möglichkeit von Blattverätzungen durch Schwefel. Die Variabilität im Auftreten von Schäden und unterschiedliche Dosis-Wirkungsbeziehungen sind ein Anzeichen für die bislang ungenügende Beachtung von Transport- und Reaktionsprozessen in der Mikrobenetzung von Blattoberflächen.

II.b Eigene Vorarbeiten zum Thema

Die von REUVENI und Mitarbeitern vorgestellte Wirksamkeit von Salzlösungen lässt sich weitgehend mit der Hygroskopizität der Salze erklären. Diese führt dazu, dass sich die Salze bereits weit unterhalb der Wasserdampfsättigung verflüssigen und zu makroskopisch nicht wahrnehmbarer Benetzung auf der hydrophoben Blattoberfläche führen (Burkhardt 1994). Dabei ist zu beachten, dass die Wasserdampfsättigung in der (laminaren) Grenzschicht der Blätter oft deutlich höher ist als in der (turbulenten) Atmosphäre. Es liegen also nach Salzapplikation die Voraussetzungen für eine Bildung von Lösungen durch Wasseraufnahme auf der Blattoberfläche vor. Art und Zusammensetzung der Salze auf der Blattoberfläche bestimmen den Punkt der Verflüssigung dieser Salze, die Ionenstärke der aufliegenden Lösungen wie auch pH-Wert und Reaktivität in diesen Oberflächenlösungen. Kürzlich wurde auch der eindeutige Nachweis erbracht, dass ein Transport von hydrophilen Substanzen von der Blattoberfläche über die Stomata tatsächlich möglich ist (Eichert und Burkhardt 1999, Eichert 2001). Die Konzentration der Lösungen, der Öffnungsgrad der Stomata und die Vorbehandlung des Blattes bestimmen die Transportraten ins Blatt.

Die Konidien des Echten Mehltaus werden durch tropfbar flüssiges Wasser geschädigt, und können auf scheinbar trockenen Oberflächen keimen. Da aber die initiale Bildung von Keimhyphen eine Volumenveränderung erfordert, die auf einer Wasseraufnahme beruhen muss, konkurrieren Salz und Konidien um das Wasser aus dieser Oberflächenbenetzung. Die in manchen Lehrbüchern noch anzutreffende Angabe, wonach Konidiosporen Echter Mehltaupilze das zur Keimung benötigte Wasser „selbst mitbringen“, ist physikalisch unsinnig. Der osmotische Wert der Konidiosporen ist dabei offensichtlich hoch genug, um Wasserdampf aus der Atmosphäre zu kondensieren und/oder Wasser aus der Oberflächenbenetzung aufzunehmen. Eine höhere Salzkonzentration in der Mikrobenbenetzung dürfte die Wasseraufnahme durch Keimhyphen deutlich erschweren bzw. verhindern.. Auch die pH- Pufferung im entweder basischen (NaHCO_3) oder sauren Bereich (durch S) stellt offensichtlich einen das Keimhyphenwachstum



kontrollierenden Faktor dar.

Abb. 1: Wirkung verschiedener Salzapplikationen auf den Befall mit Gurkenmehltau (Diss.

Steinke in prep..)

Abb. 1 zeigt Ergebnisse von Voruntersuchungen vor Beginn des geförderten Vorhabens, wo verschiedene Salze in der Bekämpfung gegen Gurkenmehltau untersucht wurden. Demnach war die Wirkung der Salze (insbesondere von NaCO_3) der eines konventionellen Fungizids praktisch gleichwertig.

Grundsätzlich neu an der Vorgehensweise der Arbeitsgruppe war die Berücksichtigung der Existenz von Mikrobenbenetzung auf der Blattoberfläche (Abb. 2), der Berücksichtigung dieser kontrollierenden Faktoren, der gezielten Optimierung der Kombination von zugelassenen Salzen für die Wirkung gegen das Initialwachstum der Keimhyphen in der Mikrobenbenetzung bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Stoffaufnahme durch Spaltöffnungen. Im Falle von S- Zugabe zu MnCl_2 – Lösungen wird die katalysierte Oxidation von S berücksichtigt. Es wird erwartet, dass die S-Konzentrationen für eine optimierte Wirkung deutlich herabgesetzt werden können (maximale Konzentration: 0,05%). Die Kombination mehrerer Salze dürfte zu einer Verbesserung der Wirksamkeit gegenüber den Effekten der Einzelkomponenten führen. Optimiert werden die Kombinationen dabei hinsichtlich Deliqueszenzverhalten, pH-Wert und Pufferkapazität in

der Mikrobenetzung und synergistische Wirkung mit Pflanzenextrakt (Sachalin-Knöterich). Der Bedeckungsgrad der Lösungen sollte dabei ebenso optimiert werden.

2. Material und Methoden

Im Jahre 2002 wurden in einem der Gewächshäuser des Versuchsgutes „Marhof“ die eingangs genannten Salzlösungen in einem schon bestehenden Gurkenbestand in den zu untersuchenden Konzentrationen aufgebracht. Es handelte sich dabei um 32 Salzvarianten mit jeweils 6 Pflanzen pro Variante. Die Bonitur des Befallsverlaufs fand im Abstand von jeweils zwei Wochen statt. Es wurde die befallene Blattfläche (in %) nach Blattetagen getrennt bewertet. Der Infektionsdruck innerhalb des Gewächshauses wurde mit einer Sporenfalle ermittelt.

Mittels Nährstoffanalysen wurden die Blattgehalte an den Hauptnährstoffen N, P, K, sowie Ca, Mg und Mn bestimmt nach Säureaufschluss (HNO_3 mittels Druckaufschluss). Der Nachweis von N erfolgte mittels einer modifizierten Kjeldahl - Methode, Mg wurde am AAS gemessen, die anderen Nährstoffe mittels Flammenphotometrie bestimmt.

Diejenigen Behandlungsvarianten, die statistisch relevanten Reduktionserfolg der Pilzentwicklung bei gleichzeitig keiner oder geringer Nekrotisierung der Blätter zeigten, wurden ermittelt. Mit diesen Salzen bzw. Salzmischungen wurde an ausgewählten Einzelpflanzen in Klimakammerversuchen Untersuchungen zur Mikrobenetzung durchgeführt.

Gleichzeitig wurde nach Inokulation mit Sporen des Echten Mehltaus die Hyphenentwicklung täglich mittels REM elektronenoptisch visualisiert und Unterschiede in Ausbildung und Wachstum der Keimhyphen dokumentiert.

Die Salzlösungen, mit denen ein guter Bekämpfungserfolg erzielt werden konnte, wurden im Jahre 2003 unter Praxisbedingungen eingesetzt. Diese Untersuchungen wurden im Freiland an Einlegegurken und im Gewächshaus an Schlangengurken der Sorte Corona auf dem Gelände der Versuchsanstalt „Marhof“ vorgenommen. Weitere Gewächshausversuche fanden statt im Ökolandbaubetrieb Auweiler an Gurken der Sorten „aviance“ und „aramon“ bzw. an der Tomatensorte „devotion“.

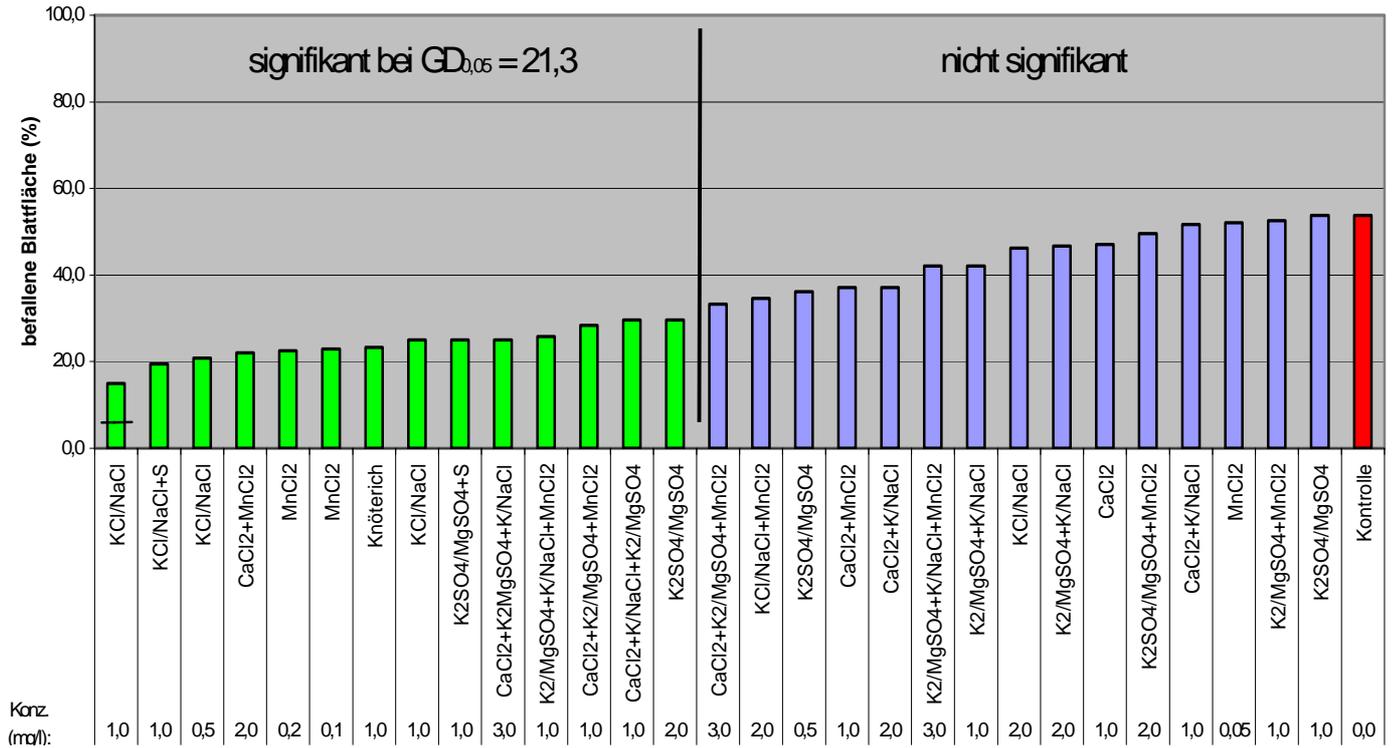
3. Ergebnisse:

3.1. Ausführliche Darstellung

Mehltaubefall der Gurkenpflanzen

Es ergaben sich in der Mehltauentwicklung deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen. Wie in Abb.2 dargestellt, konnte Knöterichextrakt ebenso wie viele Salze eine statistisch signifikante Reduktion des Befalls mit Echtem Mehltau verursachen.

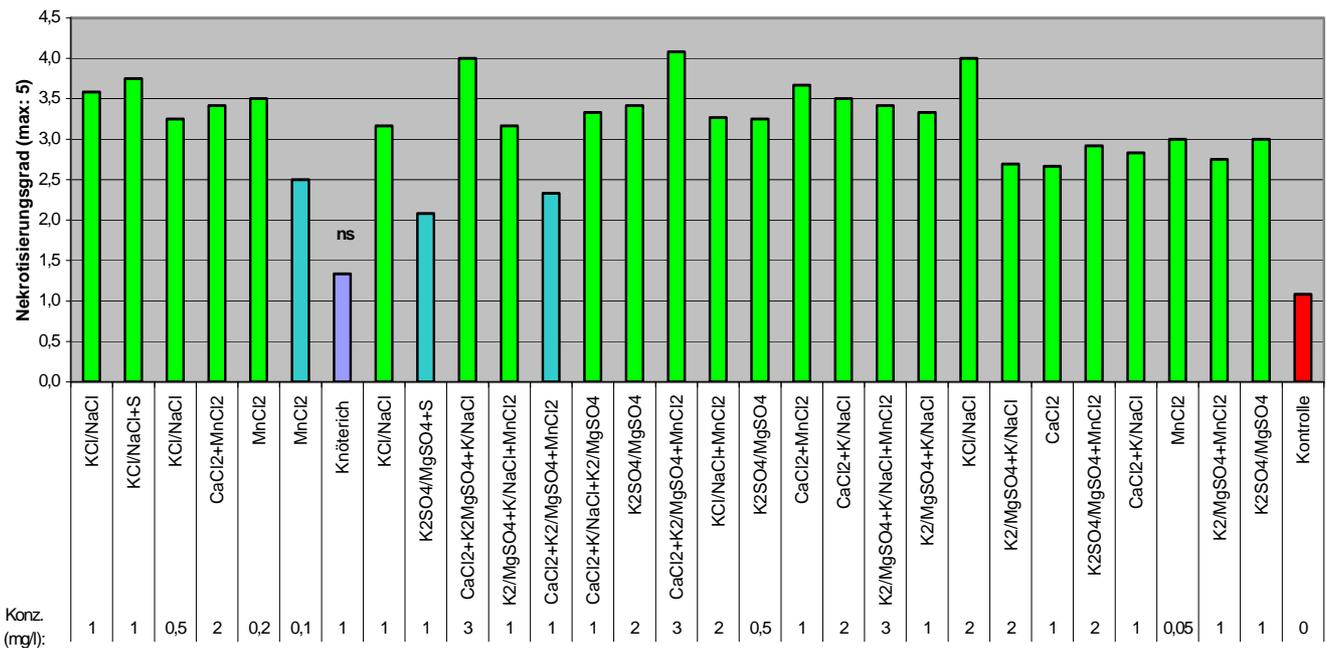
Abb.2: Mehltautentwicklung auf Gurken nach Applikation verschiedener Salze



Die Kaliumsalze zeigten in jeder der untersuchten Konzentrationen eine effiziente Kontrolle des Mehltaus, wobei die Bonitur der Konzentration KCl/NaCl 2% sich schwierig gestaltete durch die sehr starke Schädigung der Blätter, denn auf nahezu abgestorbenen Blattoberflächen ist die Entwicklung des Mehltaumycels (obligater Parasit) ebenso unterbunden. Für die Sulfatsalze und MnCl₂ ergab sich bei Einsatz der Maximalkonzentrationen von 2 bzw. 0,1/0,2% ein guter Bekämpfungserfolg, wogegen in den niedrig gewählten Konzentrationen von 0,5/1% bzw. 0,05 % eine geringere Wirksamkeit festgestellt wurde.

Allerdings führten nicht nur die Kaliumsalze, sondern auch viele andere Salze, vor allem in Konzentrationen >1% zum Auftreten von Blattnekrosen (Abb. 3).

Abb.3: Blattnekrosen von Gurkenpflanzen nach Applikation verschiedener Salzlösungen



So zeigten z. B die Kaliumsalze auch in der niedrigsten getesteten Konzentration von 0,5% noch guten Mehltaubekämpfungseffekt, hinterließen aber starke Schädigung der Blattoberflächen. Nach dem Abtrocknen der Sprühdösungen blieben auf manchen Blättern punktförmige Salzbeläge zurück, die mit dem bloßen Auge sichtbar waren. Es ist davon auszugehen, dass an diesen Stellen die Salzkonzentration im trocknenden Tropfen für die Oberfläche des betroffenen Blattes toxische Werte annahm. In Kombination mit Netzschwefel waren die Zerstörungen nicht derartig ausgeprägt, was vermutlich auf das Netzmittel zurückgeführt werden kann. Dadurch wird eine gleichmäßigere Verteilung der Salze über die gesamte Oberfläche erzielt, wodurch Stellen hoher Salzkonzentrationen vermieden werden. Trotzdem waren auch in der Kombination Kaliumsalze + Netzschwefel die Schädigungen der Blätter so stark ausgeprägt, dass auf weitere Untersuchungen verzichtet wurde.

Die Salze bzw. Salzmischungen, die sowohl signifikant den Mehltaubefall einzuschränken konnten, als auch nur geringfügige Nekrotisierungen der Blattoberfläche hinterliessen, wurden für weitere Untersuchungen verwendet.

Dabei handelt es sich um die Sulfatsalze (Patentkali) mit und ohne Zusatz von Netzschwefel, MnCl₂ in der Konzentration 0,1% sowie Knöterichextrakt.

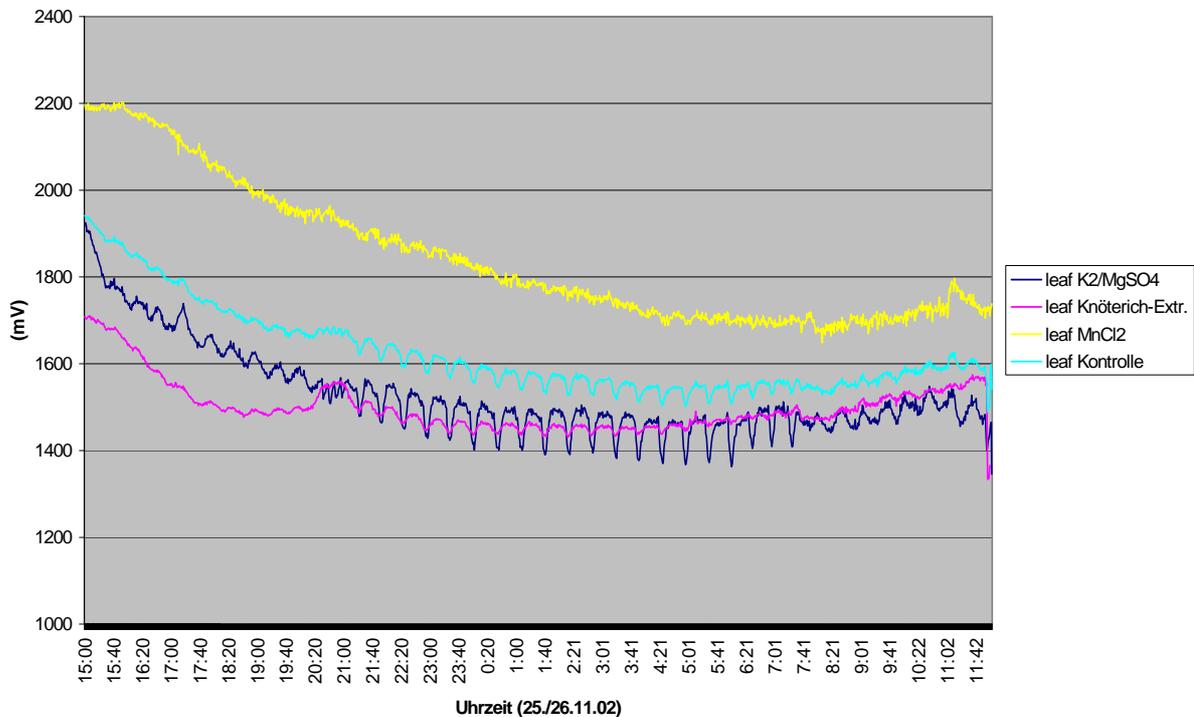
Nährstoffanalysen

Aus der Untersuchung der Hauptnährstoffe N, P, K, Mg, Ca, Mn konnten keine signifikanten Erhöhungen der Nährstoffgehalte nach Blattapplikation festgestellt werden.

Die zusätzlich applizierten Nährstoffmengen sind gegenüber den insgesamt aufgenommenen Nährstoffen vergleichsweise gering, insbesondere für die Makronährstoffe (K, S, Ca, Mg), so dass die zusätzlich über das Blatt applizierten und durch die Umlagerung der Nährstoffe in der Pflanze vergleichsweise geringfügigen Nährstoffmengen sich nicht in signifikanten Änderungen der Blattkonzentrationen niederschlagen, Effekte der Ernährung auf die Initialentwicklung des Echten Mehltaus können daher ausgeschlossen werden.

Mikrobenetzung

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Leitfähigkeiten der mit unterschiedlichen Salzlösungen besprühten Gurkenblätter. Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte aus 4 Messungen an jeweils einer Pflanze. Die Pflanzen waren im gleichen Alter, Ernährungs- und Wasserversorgungszustand. Die unterschiedliche Leitfähigkeit ist somit auf andere als Standortfaktoren zu-



rückzuführen.

Abb.4: Leitfähigkeit von Gurkenblättern nach Applikation verschiedener Salzlösungen

Die Luftfeuchte in der Klimakammer wird computergesteuert um 85%rF geregelt. Die Oszillationen der Kurven spiegeln die Feuchtesteuerung der Klimakammer wider.

Die mit $MnCl_2$ belegten Blätter zeigten im Vergleich zu den anderen Blättern eine erhöhte Leitfähigkeit. Bei dem niedrigen Deliqueszenzpunkt von $MnCl_2$ (32%rF) kann davon ausgegangen werden, dass die auf die Blattoberfläche aufgetragenen Tropfen während des gesamten Untersuchungszeitraums in flüssigem Zustand verblieben waren. Dafür spricht auch die deutlich geringeren ausgeprägten Oszillationen der Leitfähigkeitskurve des $MnCl_2$ -Blattes. Die Kurven des Knöterichextrakts (DQ unbekannt) bzw. $K_2SO_4/MgSO_4$ (DQ 97/98%rF) unterscheiden sich nicht von derjenigen der Kontrolle. Die mit diesen Lösungen aufgetragenen Salze hatten sich also nicht vollständig verflüssigt und reagierten dynamisch auf die jeweiligen Unterschiede in den Feuchteverhältnissen an der Blattoberfläche.

Alle Kurven zeigen die Abnahme der Blattleitfähigkeiten bis zum Beginn der Hellphase um 8:00 Uhr. Dies korrespondiert mit Transpirationsleistungen der Pflanzen zu Fotosyntheszwecken. Daraus ergeben sich im Tagesverlauf schwankende Feuchteverhältnisse auf der Blattoberfläche, die zu Salzkriechen und damit verstärkter Kontaktmöglichkeit zwischen Salz und Spore führen dürften.

Die Ergebnisse der Einzelmessung variierten stark untereinander. Der Anpressdruck der Sensoren, das Vorhandensein von Blathaaren und/oder sonstigen Oberflächenstrukturen, welche die Auflagefläche der Sensoren beeinflussen, die Widerstandsfähigkeit des Pflanzengewebes

gegenüber Wechselstrom sowie individuelle Unterschiede zwischen einzelnen Pflanzen können dazu führen, dass die Absolutwerte der Messungen nur bedingt miteinander zu vergleichen sind. Bei allen Vorbehalten gegenüber einer Messtechnik, die sich noch in der Erprobungsphase befindet, kann dennoch festgestellt werden, dass die unterschiedliche Leitfähigkeit der untersuchten Blätter auf einen Unterschied der Wasseranlagerungsfähigkeit der eingesetzten Salze zurückgeführt werden kann und somit, in Kombination mit weiteren Methoden, Rückschlüsse auf die Benetzungsdauer bei Applikation unterschiedlicher Salze zulässt.

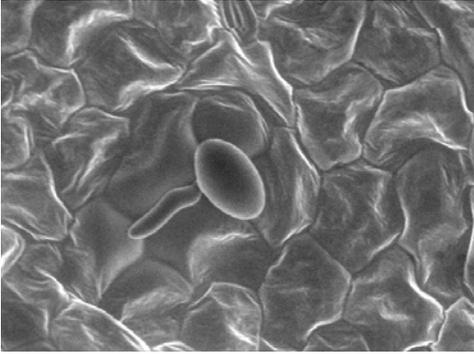
4.4 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Auf Abb. 5a bis e ist die ungestörte Entwicklung von Konidien des Echten Mehltau auf einem Gurkenblatt zu verfolgen.

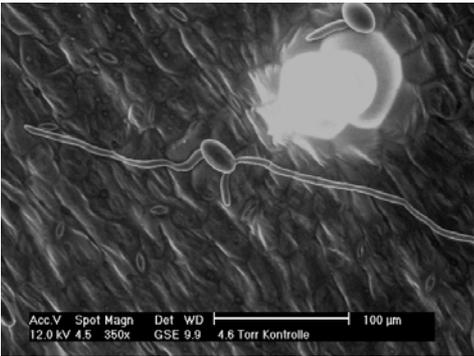
Im Unterschied dazu führten alle eingesetzten Salze zu Störungen in der Primärentwicklung des Pilzes. Auffällig war, dass auf den $MnCl_2$ -behandelten Blättern sich die Pilzentwicklung ungestört vollzog, solange die Spore bzw. die sich entwickelnde Hyphe keinen Kontakt zum Salz bekam. Wie Abb. 6c bis e verdeutlicht, setzte diese Wirkung in der vorliegenden Untersuchung bei jedem Entwicklungsstand des keimenden Pilzes ein und führte dazu, dass nach einer Woche keine Fortpflanzung des Mehltaus festgestellt werden konnte.

Knöterichextrakt zeigte ähnlich toxische Wirkung. Dem Knöterichextrakt wird allgemein pflanzenstärkende und abwehrstimulierende Wirkung zugeschrieben. Die vorliegenden Untersuchungen sprechen aber darüber hinaus für einen direkt sporenschädigenden Effekt. Zu den hier untersuchten Zeiträumen des Mehltaubefalls dürfte die Pflanze noch durch kein Signal „Kenntnis“ des Angriffs haben.

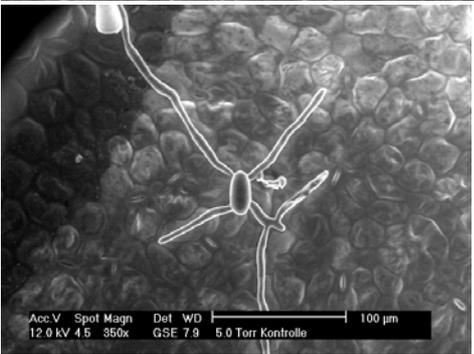
Auch Patentkali und Patentkali + S unterbanden beide die Sporenkeimung. Unterschiede in der Wirkung ergaben sich durch die gleichmäßigere Verteilung der Sulfatsalze + Schwefel. Das Netzmittel sorgte dafür, dass mehr der aufgebrachten Sporen Kontakt zum Salz bekamen, so dass nach einer Woche keine fortpflanzungsfähigen Sporen mehr festzustellen waren. Patentkali ohne Zusatz von Schwefel+ Netzmittel unterband ähnlich wie $MnCl_2$ die Keimung bzw. die weitere Hyphenentwicklung bei Kontakt. Allerdings waren größere Menge an Sulfatsalzen notwendig. Geringe Konzentrationen wurden vom Pilz toleriert. So zeigt Abbildung 8e, dass sich auf den allein mit Patentkali behandelten Blättern nach einer Woche reife Sporenträger entwickeln konnten, obwohl unter den verzweigten Hyphen deutlich Salzkristalle zu erkennen sind.

Abb. 5: Entwicklung des Echten Gurkenmehltau (*Sphaeroteca fuliginea*): Kontrolle

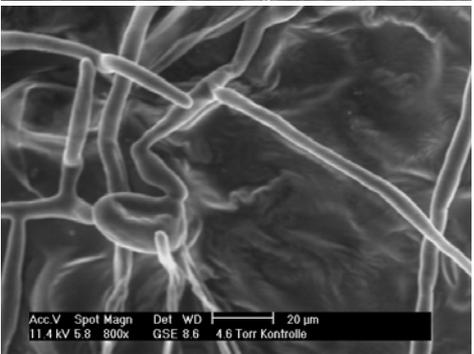
a) 24 Stunden, primärer Keimschlauch



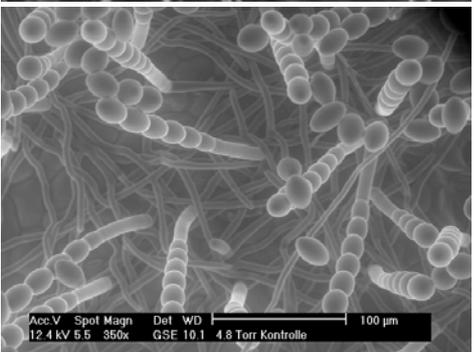
b) 48 Stunden, sekundäre Hyphen



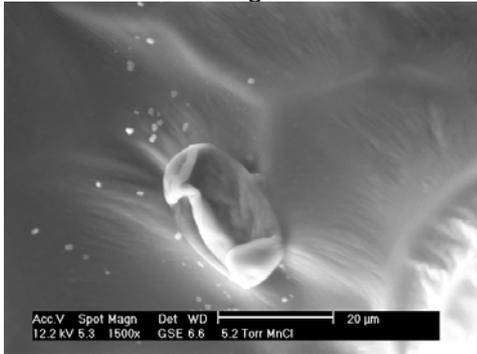
c) 72 Stunden, div. Verzweigungen



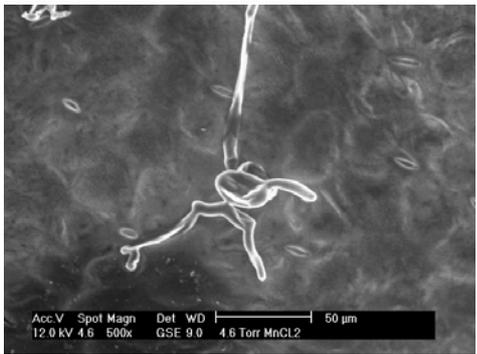
d) 96 Stunden, unreife Konidiophoren



e) 1 Woche, Entwicklungszyklus vollendet

Abb. 6: Entwicklung des Echten Gurkenmehltau (*Sphaeroteca fuliginea*) MnCl₂

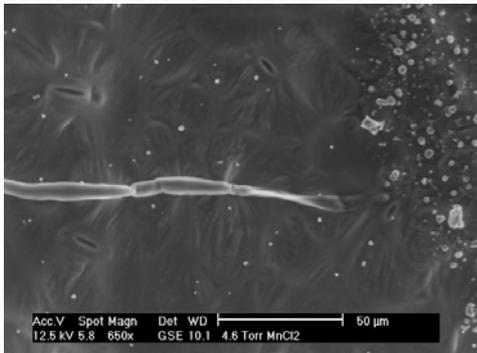
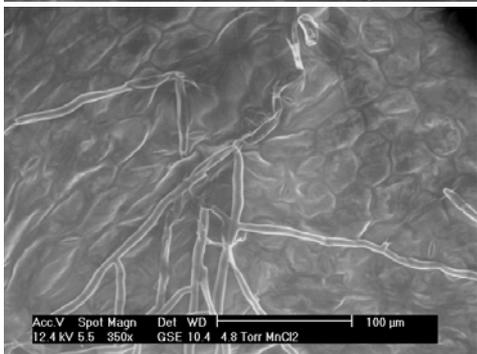
a) 24 Stunden, kollabierte Spore



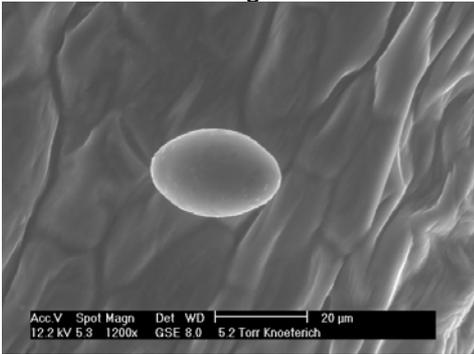
b) 48 Stunden, div. Verzweigungen, kollabiert



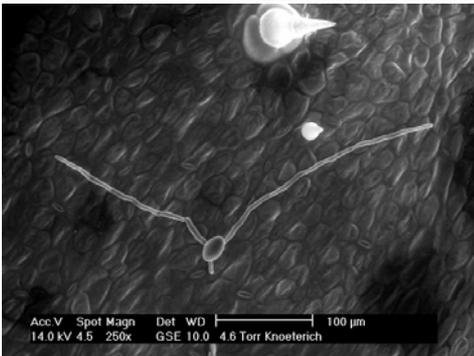
c) 72 Stunden, div. Verzweigungen, kollabiert

d) 96 Stunden, Hyphe kollabiert bei MnCl₂-Kontakt

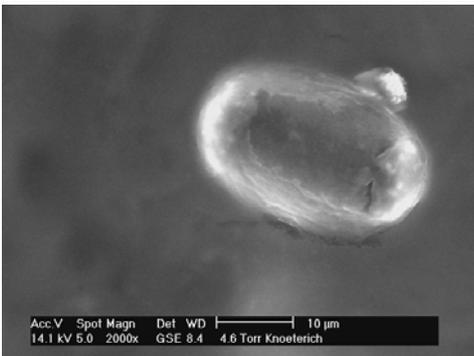
e) 1 Woche, Hyphen, z.T. kollabiert

Abb. 7: Entwicklung des Echten Gurkenmehltau (*Sphaeroteca fuliginea*) Knöterich-Extrakt

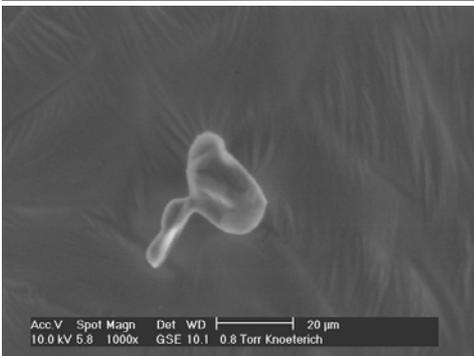
a) 24 Stunden, turgeszente Spore



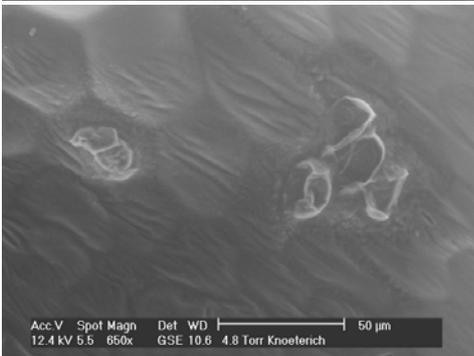
b) 48 Stunden, sekundäre Hyphe



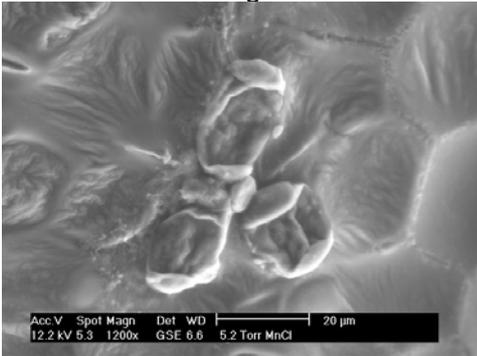
c) 72 Stunden, gekeimte Spore, abgestorben



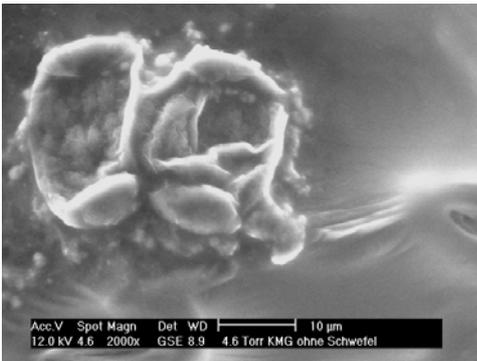
d) 96 Stunden, gekeimte Spore, abgestorben



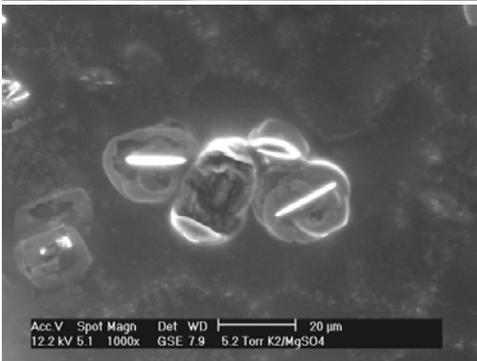
e) 1 Woche, kollabierte Sporen mit Extraktkontakt

Abb. 8: Entwicklung des Echten Gurkenmehltau (*Sphaeroteca fuliginea*): Patentkali

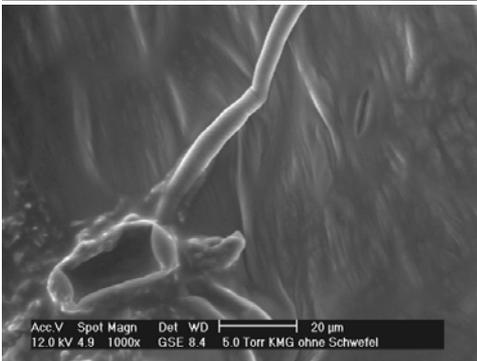
a) 24 Stunden, kollabierte Sporen mit Sulfatkontakt



b) 48 Stunden, gekeimte Sporen, kollabiert



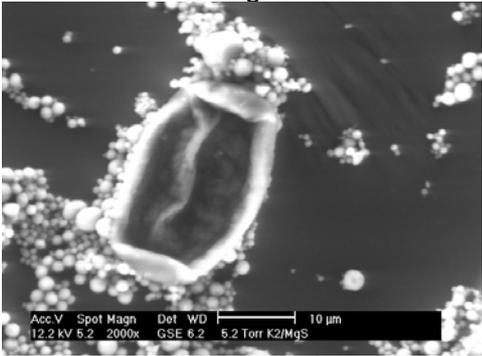
c) 72 Stunden, Sporen, kollabiert auf Sulfat



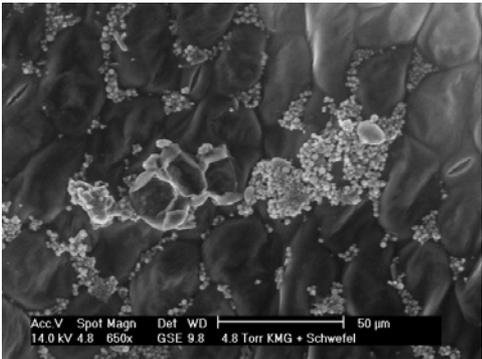
d) 96 Stunden, sekundäre Hyphe, sauberes Blatt



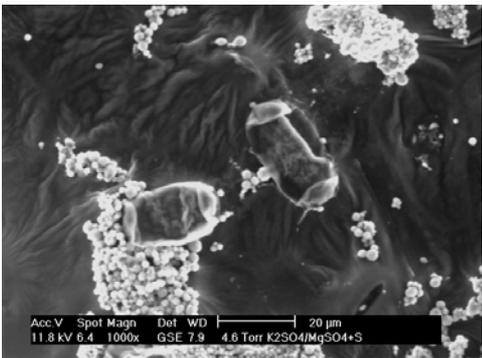
e) 1 Woche, einzelne Konidienträger, wenig Sulfate

Abb. 9: Entwicklung des Echten Gurkenmehltau (*Sphaeroteca fuliginea*): Patentkali + S

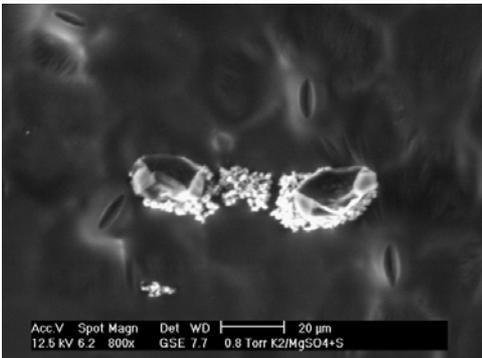
a) 24 Stunden, kollabierte Spore in Sulfat + S



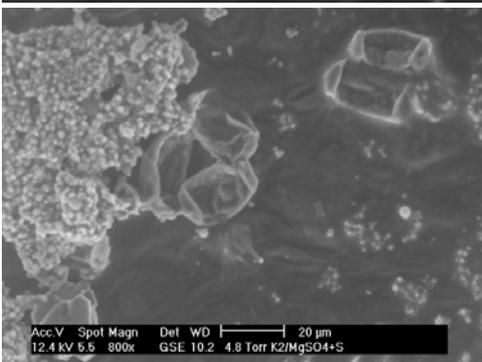
b) 48 Stunden, kollabierte Sporen in Sulfat + S



c) 72 Stunden



d) 96 Stunden



e) 1 Woche

Verifizierung unter Praxisbedingungen

Die Salzlösungen, mit denen ein guter Bekämpfungserfolg erzielt werden konnte, wurden im Jahre 2002 unter Praxisbedingungen im Freiland an Einlegegurken und im Gewächshaus an Schlangengurken der Sorte Corona auf dem Gelände der Versuchsanstalt „Marhof“ vorgenommen. Weitere Gewächshausversuche fanden statt im Ökolandbaubetrieb Auweiler an Gurken der Sorten „aviance“ und „aramon“ bzw. an der Tomatensorte „devotion“ (Kultur auf Grundbeeten).

Die ungewöhnlich heiße Witterung in diesem Sommer führte zu erheblichen Problemen in allen Gewächshäusern. Viele der Gurkenpflanzen bildeten sogenannte „Hitze Köpfe“ (männliche Blüten) aus.

Zusätzlich führten die Hitze und Trockenheit zu einer explosionsartigen Vermehrung verschiedener Schadinsekten. So kam es in der Versuchsanlage Auweiler kurz nach beginnender Mehltauinfektion und Durchführung der Salzapplikation zu einem massiven Befall mit Spinnmilben, der trotz Nützlingseinsatz innerhalb von 14 Tagen das Absterben der gesamten Gurkenbestände verursachte. Eine Bonitur des Mehltaubefalls war daher nicht mehr möglich. Trotzdem die Pflanzen durch diese zusätzlichen Stressoren stark belastet waren, konnten zusätzliche Blattschäden durch die Applikation der Salzlösungen ausgeschlossen werden.



Abb. 4: Gurkenpflanzen im Gewächshaus, Spinnmilbenbefall

Die Tomatenpflanzen in Auweiler zeigten allgemein undefinierten Nährstoffmangel und infizierten sich nicht mit Echtem Mehltau. Sie litten allerdings an Stengelbotrytis und es kam zu massiven hitzebedingten Ausfällen, ehe mit den Untersuchungen begonnen werden konnte.

In den Gewächshäusern der Versuchsanlage „Marhof“ erwiesen sich die eingesetzten Salze nach der beginnenden Infektion mit Echtem Mehltau wie auch schon im Gewächshausversuch Auweiler als unschädlich für die Blattoberflächen. Damit konnten die Ergebnisse des Vorjahres hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit bestätigt werden. Eine Bonitur des Mehltaubefalls war auch hier nicht möglich, da es zu einem hitzebedingten Totalausfall des gesamten Gurkenbestandes kam.

Abb.5: Einlegegurken, Freilandanbau, Befall mit falschem Mehltau



Im Freilandanbau von Einlegegurken fand keine Infektion durch Echten Mehltau statt. Dagegen konnte eine starke Infektion durch falschen Mehltau festgestellt werden (Abb. 5). Diese Gelegenheit wurde genutzt, die Wirkung der Salzapplikation auf diesen Schaderreger zu untersuchen. Die Salzspritzung erfolgte hier wöchentlich,

was ebenfalls nicht zu einer Schädigung der Blattoberfläche führte. Die eingesetzten Salze zeigten gegenüber falschem Mehltau jedoch keine Wirkung. Einzig die $K_2SO_4/MgSO_4 + S$ Variante vermochte den Befall leicht zu reduzieren, ohne jedoch den Ertrag statistisch abgesichert zu ändern. Dies zeigt eindeutig an, dass die durch Salzapplikation modifizierten Oberflächeneigenschaften den Befall mit den epiphyll wachsenden Echten Mehltapilzen beeinflussen kann, nicht jedoch Pilze, die sich primär endophytisch entwickeln.

3.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse / Interpretation

Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass Salze gegen Echte Mehltapilze im Gemüseanbau unter Praxisbedingungen mit gutem Erfolg eingesetzt werden können. Allerdings sollte noch weiter an der Identifikation der besten Wirkstoff – Kombinationen gearbeitet und die Anwendung optimiert werden. Durch die REM – Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Salze und der Knöterichextrakt offensichtlich verschiedene Wirkungsmechanismen aufweisen, es also mögliche Synergieeffekte nutzbar gemacht werden können. Ebenso wären weitere unterschiedliche Wirkstoffmischungen zu prüfen, um eine optimale Kombination zu erhalten.

Eine Schwierigkeit bei den vorgenommenen Untersuchungen war die z.T. erhebliche Nekrotisierung der Blattoberflächen bei Einsatz von Chloriden. Da diese Salzlösungen jedoch auch in geringer Konzentration in der Lage waren, die Ausbreitung des Echten Mehltau effektiv zu verhindern, wären weitere Untersuchungen mit geringeren Konzentrationen in Verbindung mit weiteren Salzen und/oder pflanzlichen Extrakten (*R. sachalinensis*, evtl. weitere Extrakte bzw. Salzmischungen) durchzuführen. Auf alle Fälle zeigten die Versuche, auf grund der extremen Wetterlage im Jahre 2003 nur in 2002 sowie aus den Beobachtungen bei in der Klimakammer angezogenem Material eindeutig, dass Salz- oder Salz-Extraktkombinationen erfolgreich gegen echte Mehltapilze eingesetzt werden können.

Die Salztoleranz in Bezug auf Beladung der Blattoberflächen wäre noch an verschiedenen Gurkensorten, aber auch anderer Gemüsearten, wie z.B. Zucchini und Tomate zu vergleichen. So zeigt Zucchini große Variabilität in den Standortansprüchen und es steht zu vermuten, dass auch eine ähnliche Vielfalt in der Verträglichkeit gegenüber Salzbelägen auf Blättern besteht. Dabei soll besonders berücksichtigt werden, inwieweit Sortenunterschiede bei Gurken und Tomaten in der Empfindlichkeit gegenüber Salzen, einschließlich der Chloridsalze feststellbar sind.

Die aus weiteren Versuchen vorliegenden Ergebnisse zeigten, dass durch Einsatz von Netzmitteln der Bekämpfungserfolg bei gleichen Salzkonzentrationen deutlich gesteigert werden konnte. Der Zusatz eines im biologischen Anbau zulässigen Netzmittels soll daher in die Prüfungen der besten Wirkstoffkombinationen mit aufgenommen werden, um die zur Bekämpfung notwendigen Konzentrationen der Salzlösungen weiter zu verringern.

Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Netzmittel auf die Benetzbarkeit der Oberflächen, das Verteilungsmuster der aufgetragenen Salzlösungen sowie die minimal erforderlichen Salzkonzentrationen könnten geeignet sein, den Einsatz von Chloriden u.U. zu ermöglichen.

4. Zusammenfassung:

In der vorliegenden Studie sollten Blattoberflächen - modifizierende Salzapplikationen als Bekämpfungsmittel gegen Echten Mehltau getestet werden hinsichtlich der folgenden Eigenschaften:

- Wirkung verschiedener Salze
- Blattverträglichkeit
- Untersuchung der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen mittels REM
- Übertragbarkeit in praxisnahe Versuche.

Die Bonitur der Gurkenpflanzen ergab, dass die Wirkungen der untersuchten Salzlösungen und Kombinationen aus verschiedenen Salzen deutliche Unterschiede zeigte. Den besten Mehltaubekämpfungseffekt bei gleichzeitig geringer oder keiner Schädigung der Blattoberfläche ergab $MnCl_2$ in der Konzentration 0,1%, Patentkali ($K_2SO_4/MgSO_4$) in der Konzentration 1% und Knöterichextrakt in der Konzentration 1%. Aus den mikrometeorologischen Untersuchungen konnte gefolgert werden, dass sich $MnCl_2$ aufgrund seines niedrigen Deliqueszenzpunktes ständig gelöst auf der Blattoberfläche befand, wogegen sich Knöterichextrakt und Patentkali kriechend übers Blatt bewegen können, da sie bei den gegebenen Verhältnissen unterschiedlich abtrocknen und wieder verflüssigen.

Es ergaben sich ferner Anhaltspunkte dafür, Salzschäden der Blattoberflächen zu verringern durch Zusatz von Netzmitteln zur Sprühlösung.

Durch rasterelektronische Visualisierung ergab für alle untersuchten Lösungen einen direkt toxischen Effekt auf die Mehltausporen und ihre Hyphen in jeder Entwicklungsphase des Pilzes.

Die Nährstoffanalysen zeigten, dass sich die Pflanzen in optimalem Ernährungszustand befanden. Signifikante Veränderungen der Nährstoffgehalte in den Blättern ergaben sich durch Blattapplikation nicht.

Eine Schwierigkeit bei den vorgenommenen Untersuchungen war die z.T. erhebliche Nekrotisierung der Blattoberflächen, vor allem bei Einsatz der Chloridsalze. Da diese Salzlösungen jedoch auch in geringer Konzentration in der Lage waren, die Ausbreitung des Echten Mehltau effektiv zu verhindern, ist anzustreben, weitere Untersuchungsreihen durchzuführen, um eventuell Möglichkeiten zu entwickeln, diese Salze doch einsetzen zu können.

Die Prüfung der fungiziden Wirkung der Salze auf Echten Mehltau im Gemüseanbau unter Praxisbedingungen konnte aufgrund extremer Witterungsbedingungen im Sommer 03 noch aus. Der Einsatz der untersuchten Salzmischungen kann in den angegebenen Konzentrationen den Befall mit Echtem Mehltau effektiv reduzieren, ohne die Blattoberflächen zu schädigen.

5. Gegenüberstellung der Ziele, weitere Hinweise

Die ursprünglich gesteckten Ziele konnten im vorliegenden Antrag nur zum Teil erreicht werden, da im Jahre 2003 die extreme Hitze und Trockenheit eine Prüfung unter Praxisbedingung nicht erlaubte.

Die bislang durchgeführten Untersuchungen ergaben jedoch eindeutig, dass die Bekämpfung Echter Mehltäupilze (nicht dagegen der endophytischen parasitären Pilze wie Falscher Mehltau) mit bestimmten Salzlösungen oder Kombinationen aus Pflanzenextrakt und Salzen im organischen Landbau möglich ist. Allerdings besteht noch Optimierungsbedarf hinsichtlich der Kombination verschiedener Salze und wirksamer Extrakte: hier wurde das gesteckte Ziel nicht erreicht (Witterung!). Es wird jedoch ein signifikantes Potenzial für die Bekämpfung ektoparasitärer Pilze gesehen, wobei die Ermittlung optimaler Faktorenkombination noch weitere Untersuchungen benötigt.

6. Verzeichnis der verwendeten Literatur

- AVEN, M., G. NOGA and M. REUTER, 1998: Effect of alcohol ethoxylate surfactants on the penetration and efficacy of the fungicide dimethomorph in grapevine leaves. In: Proceedings of Fifth International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals. Vol. 1, P. M. McMullan (Ed.), ISAA, Memphis, 176-181.
- BLANKE, M. M., 1996: Stomata, energy and water requirement of avocado inflorescence. Proceedings of the 1st Conference on Fruit Production in the Tropics and Subtropics. Berlin, 95-97.
- BLANKE, M. M., 1997: Stomata, transpiration and photosynthesis of citrus orange fruit. Proceedings of the International Society of Citriculture, 1017-1020.
- BLANKE, M. M., W. BACHER, R. J. PRING and E. A. BAKER, 1996: Ammonium nutrition enhances chlorophyll and glaucousness in kohlrabi. *Annals of Botany* 78, 599-604.
- BURKHARDT J., DRECHSEL P. (1997): The synergism between SO₂ oxidation and manganese leaching on spruce needles – A chamber experiment. *Environmental Pollution*, 95, 1-11.
- BURKHARDT J., EIDEN R. (1990): The ion concentration of dew condensed on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Trees*, 4, 22-26.
- BURKHARDT J., EIDEN, R. (1994): Thin water films on coniferous needles. *Atmospheric Environment*, 28, 2001-2011.
- BURKHARDT J., GERCHAU, J. (1994): A new device for the study of water vapour condensation and gaseous deposition to plant surfaces and particle samples. *Atmospheric Environment*, 28, 2012-2017.
- BURKHARDT J., KAISER H., GOLDBACH H.E, KAPPEN L. (1999): Measurements of electrical leaf surface conductance reveal re-condensation of transpired water vapour on leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment*, 22, 189-196.
- BURKHARDT J., KAISER H., KAPPEN L., GOLDBACH H.E. (2001) The possible role of aerosols on stomatal conductivity for water vapour. *Basic and Applied Ecology*, 2, 351-364.
- BURKHARDT J., PETERS K., CROSSLEY A. (1995): The presence of structural surface waxes on coniferous needles affects the pattern of dry deposition of fine particles. *Journal of Experimental Botany*, 46, 823-831.
- BURKHARDT J., SUTTON M.A., MILFORD C., STORETON-WEST R.L., FOWLER D. (1998): Ammonia concentrations at a site in southern Scotland from 2 yr of continuous measurements. *Atmospheric Environment*, 32, 325-331.
- BURKHARDT, J. (1988): Die Bildung von Tau an Koniferen – Physik und Chemie. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Abteilung Meteorologie, Universität Bayreuth, 1-77.
- BURKHARDT, J. (1992): Tauwasser und die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe auf Vegetationsoberflächen. *Annalen der Meteorologie*, 27, 117-118.
- BURKHARDT, J. (1994a): Dünne Wasserfilme auf Fichtennadeln und ihr Einfluß auf den Stoffaustausch zwischen Atmosphäre und Pflanze. *Bayreuther Forum Ökologie*, 9, 1-135.
- BURKHARDT, J. (1994b): Dünne Wasserfilme auf Fichtennadeln und ihr Einfluß auf den Stoffaustausch zwischen Atmosphäre und Pflanze. In: Gemeinsames Konzept der langfristigen Erfassung von Stoff-

transporten zwischen terrestrischen Ökosystemen und der Atmosphäre. *Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen*, Reihe B 41, 62-67.

- BURKHARDT, J. (1995): Microscopic processes governing the deposition of trace gases and particles to vegetation surfaces. In: Acid Rain Research – Do we have enough answers? HEIJ G.J. & ERISMAN J.W. (eds), 139-148. Elsevier, Amsterdam.
- BUWALDA, J. G. und F. LENZ, 1995: Water use by european pear trees growing in drainage lysimeters. *Journal of Horticultural Science* 70, 531-540.
- CLEMENT, J.A., PORTER, R., BUTT, T.M., BECKETT, A. (1994). The role of hydrophobicity in attachment of uredinospores and sporelings of *Uromyces viciae-fabae*. *Mycol. Res.* 98: 1217-1228.
- CORREA, A., STAPLES, R.C., HOCH, H.C. (1996). Inhibition of thigmostimulated cell differentiation with RGD- peptides in *Uromyces* germlings. *Protoplasma* 194: 91-102.
- DEISING, H.B., WERNER, S., WERNITZ, M., (2000). The role of fungal appressoria in plant infection. *Microbes Infect.* 2, 1631-1641.
- EIDEN R., BURKHARDT J., BURKHARDT O. (1994): Atmospheric aerosol particles and their role in the formation of dew on the surface of plant leaves. *Journal of Aerosol Science*, 25, 367-376.
- KLEMM O., BURKHARDT J., GERCHAU J. (1999): Leaf Wetness: A Quantifiable Parameter in Deposition Studies. Proceedings of EUROTRAC Symposium '98: Transport and Chemical Transformation in the Troposphere, 238-242.
- LEE, Y.H., DEAN, R.A. (1994): Hydrophobicity of contact surface induces appressorium formation in *Magnaporthe grisea*. *FEMS Microbiol. Lett.* 115: 71-75.
- LEHMANN, M., (1996): Untersuchungen zur Pflanzenverträglichkeit von im Apfelbaum angewendeten Fungiziden und Insektiziden sowie Möglichkeiten zur Minderung der Phytotoxizität von Pflanzenschutzmitteln. Dissertation Universität Bonn.
- OHKOUCI, T., M.J. BUKOVAC and NOGA, G. (1997): Improving calcium penetration: Measurement and factors affecting cuticular penetration. In: Proc of the Second Workshop on Pome Fruit Quality, M. Blanke (ed.). *Acta Horticulturae* 466, 115-118.
- OPTENHÖFEL, J., CH. NEINHUIS und NOGA, G. (1997): Einfluß eines NO₃--Mangels auf Menge und Mikromorphologie der Epicuticularwachse von Fahnenblättern verschiedener Weizensorten. In: Beiträge 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, U. Köpke und J. Eisele (Hrsg.), Verlag Köster, Berlin, 322-327.
- PERFECT, S.E., HUGHES, H.B., O'CONNELL, R.J., GREEN, J.R. (1999). *Colletotrichum*: A model genus for studies on pathology and fungal-plant interactions. *Fung. OGen. Biol.* 27, 186-198.
- SCHMITZ, M. und NOGA, G. (1997): Vorkommen, Chemie und Wirkungsweise bedeutender Antioxidantien in Pflanzen. *Erwerbsobstbau* 39, 162-168.
- SCHWAB, M., G. NOGA und BARTHLOTT, W. (1995): Bedeutung der Epicuticularwachse für die Pathogenabwehr am Beispiel von *Botrytis cinerea*-Infektionen bei Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongyloides* L.) und Erbse (*Pisum sativum* L.). *Gartenbauwissenschaft* 60, 102-109.
- SUTTON M.A., BURKHARDT J., GUERIN D., FOWLER D. (1995): Measurement and modelling of ammonia exchange over arable surfaces. In: Acid rain research: Do we have enough answers? HEIJ G.J. & ERISMAN J.W. (eds), 71-80. Elsevier, Amsterdam.
- SUTTON M.A., BURKHARDT J.K., GUERIN D., NEMITZ E., FOWLER D. (1998): Development of resistance models to describe measurements of bi-directional ammonia surface-atmosphere exchange. *Atmospheric Environment*, 32, 473-480.
- SUTTON M.A., FOWLER D., BURKHARDT J.K., MILFORD C. (1995): Canopy cycling and the impacts of elevated nitrogen inputs. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 2057-2063.
- TUCKER, S.L., TALBOT, N.J. (2001). Surface attachment and pre-penetration stage development by plant pathogenic fungi. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 385-417.
- WÖLFEL, D., SCHMITZ, M. and NOGA, G. (1998): Reduction of paraquat-induced oxidative stress by vitamin E in (*Phaseolus vulgaris*) and (*Malus domestica*). In: Antioxidants in Higher Plants - Biosynthesis, Characteristics, Actions and Specific Functions in Stress Defence. Noga, G. and M. Schmitz (Eds.), Shaker Verlag, Aachen, 131-138.