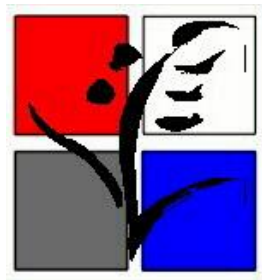


**Entwicklung innovativer Pflanzenschutzprodukte und -
verfahren als umweltfreundliche Alternativen zur
Bekämpfung von Mehltaupilzen**



madora gmbh

Bericht im Rahmen des Forschungsprojektes:

„Silizium als Aktivator bei Kulturpflanzen“

Markus Weinmann und Manfred G. Raupp

Stuttgart-Hohenheim

Verfasser: Markus Weinmann und Manfred G. Raupp, Stuttgart Hohenheim
Auftraggeber und Hrsg: **Madora GmbH, Luckestraße 1, D-79539 Lörrach &
Lörrach International e.V. V.Reg. 1578**

In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Volker Römheld, Dr. Günter Neumann, Institut für
Pflanzenernährung und Prof. Dr. Rolf Blaich, Dr. Nikolaus Merkt, FB Weinbau,
Institut für Sonderkulturen und Produktionsphysiologie;
Universität Hohenheim, Stuttgart

Lörrach Dezember 2004, Nachdruck 2019 ISBN 978-3-945046-13-5

INHALTVERZEICHNIS

A ALLGEMEINER TEIL – EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG, FORSCHUNGSZIEL UND ARBEITSGRUPPEN

1	Einleitung, Problemstellung und Forschungsziel	1
1.1	Hintergrund und Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel	2
1.3	Allgemeines Arbeitsprogramm und Arbeitsgruppen	2
2	Spezielle Problemlösungsansätze und Literaturüberblick	4

B TEILPROJEKT: „ENTWICKLUNG INNOVATIVER PFLANZENSCHUTZ-PRODUKTE UND -VERFAHREN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE“

2.1	Literaturüberblick zur Bedeutung von Silizium, Mangan und Zink für die Ausprägung von Resistenzmechanismen bei Pflanzen	4
2.1.1	Silizium	4
2.1.2	Mangan und Zink	5
2.2	Literaturüberblick zum Wirkungspotential von Knoblauch	9
3	Methodik (allgemeiner Teil)	10
3.1	Pflanzen-, Pathogenmaterial und Versuchsaufbau	10
3.2	Präparate der Versuchsdurchführung	11
3.2.1	Silizium-, Mangan- und Zink-Präparate	11
3.2.2	„Wirkstoffaktivatoren“ und Netzmittel der Versuchsdurchführung	11
3.2.3	Pflanzenextrakt aus Knoblauch	12
3.3	Versuchsauswertung und Aufbereitung der Pflanzen	12
3.4	Mineralstoffanalysen	13
3.5	Statistische Auswertung	13

B I STRATEGIEN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE MIT HILFE VON SILIZIUM, MANGAN UND ZINK

4	Strategie A: Förderung der Silizium-, Mangan- und Zinkaufnahme über Wurzel und Blatt zur Stärkung der prä- und postinfektionellen Resistenzmechanismen der Pflanze	14
4.1	Versuch zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Bodenapplikation von Silikaten und Greemax®	15
4.1.1	Versuchsfrage	15
4.1.2	Versuchsdurchführung	15
4.1.3	Forschungsergebnisse	16
4.2	Versuch zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Blattapplikation von Silikaten und Greemax®	20
4.2.1	Versuchsfrage	20
4.2.2	Versuchsdurchführung	20
4.2.3	Forschungsergebnisse	21
4.3	Versuche zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Xylem-Infusion von Kaliwasserglas und Kieselsäure	23
4.3.1	Versuchsfrage	23
4.3.2	Versuchsdurchführung	23
4.3.3	Forschungsergebnisse	25
4.4	Versuch zur Auswirkung eines verbesserten Silizium-, Mangan- und Zinkstatus von Weinreben auf die Krankheitsresistenz gegenüber Echtem Mehltau	26
4.4.1	Versuchsfrage	26
4.4.2	Versuchsdurchführung	27
4.4.3	Forschungsergebnisse, Einfluss der Silizium-, Mangan- und Zink-Düngung auf den Mehltaubefall	28

4.5	Fazit aus den Untersuchungen zur Strategie A: Förderung der Silizium-, Mangan- und Zinkaufnahme über Wurzel und Blatt zur Stärkung der prä- und postinfektionellen Resistenzmechanismen der Pflanze	29
4.5.1	Schlussfolgerungen aus den Siliziumaufnahmeversuchen an Weinreben	29
4.5.2	Fazit zur physiologischen Wirkung von Silizium-, Mangan- und Zink auf die Resistenz gegenüber Echtem Mehltau	30
5	Strategie B: Schaffung synthetischer Krusten auf der Blattoberfläche mit Hilfe von Silikat-Spritzungen als mechanische Infektions-Barrieren	30
5.1	Forschungsziel	30
5.2	Versuchsdurchführung	31
5.3	Forschungsergebnisse	32
5.3.1	Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Aerosil®, Greemax® und BreakThru® (1. Spritzversuch)	32
5.3.2	Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax®, BreakThru® und Mn-/Zn-Sulfat (2. Spritzversuch)	34
5.3.3	Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax®, BreakThru® und Mn-/Zn-Sulfat (3. Spritzversuch)	36
5.3.4	Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax®, BreakThru® und Mn/Zn in Sulfat- und Chelat-Form (4. Spritzversuch)	39
5.4	Fazit aus den Versuchen zur Schaffung synthetischer Krusten auf der Blattoberfläche mit Hilfe von Silikat-Spritzungen als mechanische Infektions-Barrieren	43

B II WIRKUNGSPOTENTIAL VON PFLANZENEXTRAKTEN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE

6	Bekämpfung des Echten Mehltaus an Weinreben mit Knoblauchextrakt	44
6.1	Forschungsziel	44
6.2	Versuchsdurchführung	44
6.3	Forschungsergebnisse	46

6.3.1	Spritzapplikation von Knoblauchextrakt, BreakThru [®] , Mn-/Zn-Sulfat und Netzschwefel (5. Spritzversuch)	46
6.3.2	Spritzapplikation von Knoblauchextrakt und BreakThru [®] (6. Spritzversuch)	47
6.4	Fazit aus der Anwendung von Knoblauchextrakt zur Bekämpfung des Echten Mehltaus	49
C	ZUSAMMENFASSENDE TEIL	
7	Abschließende Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Entwicklung innovativer Pflanzenschutzverfahren zur Bekämpfung Echter Mehltaupilze und Forschungsausblick	50
7.1	Bodenapplikation	50
7.2	Blattapplikation von Kaliwasserglas, Mn und Zn im Spritz- bzw. Sprühverfahren	51
7.3	Anwendung von Knoblauchextrakt	52
D	REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR	53

A ALLGEMEINER TEIL – EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG, FORSCHUNGSZIEL UND ARBEITSGRUPPEN

1 Einleitung, Problemstellung und Forschungsziel

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Echte und Falsche Mehltaupilze gehören zu den bedeutendsten Krankheiten an zahlreichen Kulturpflanzen. In allen Sparten der Pflanzenproduktion (Acker-, Wein-, Gemüse- und Obstbau) besitzen Mehltaupilze unter geeigneten Bedingungen ein hohes Schadenspotential im Freiland wie im Unterglasanbau. In Extremfällen können sie einen Totalausfall der Ernte verursachen, da die Mehltauentwicklung im Bestand unter entsprechenden Witterungsbedingungen explosionsartig erfolgen kann. Eine wirkungsvolle Bekämpfung ist daher zwingend erforderlich und nur wenn die erste Infektionsphase des Pilzes rechtzeitig erkannt und mit gezielten Behandlungen unterbunden wird ist die epidemische Ausbreitung mit den derzeit zur Verfügung stehenden Mitteln unter Kontrolle zu halten. Zwar werden in der konventionellen und integrierten Landwirtschaft seit Jahrzehnten organisch synthetische Fungizide zur Bekämpfung von Mehltaupilzen erfolgreich eingesetzt, für den ökologischen Anbau fehlen jedoch wirkungsvolle Alternativen zu den ökologisch bedenklichen Schwefel- und Kupferpräparaten, welche hier noch immer die Basis der Bekämpfung darstellen und eine breite Anwendung finden. In jüngerer Zeit wird zunehmend diskutiert, dass die Anwendung von Schwefel- und Kupferfungiziden wegen ihrer Auswirkungen auf den Naturhaushalt nicht länger vertretbar ist. Um den negativen Folgen entgegen zu wirken, wurden auf EU-Ebene bereits Richtlinien erlassen, die den Einsatz der genannten problematischen Produkte begrenzen sollen (vgl.: Richtlinie des Rates 91/414/EWG und 79/717/EWG). Der Zulassung für Netzschwefel wurden nach deutschem Pflanzenschutzgesetz (§ 11, §15 PflSchG) bereits mehrfach Fristen gesetzt. Jedoch hat die Notwendigkeit der Anwendung von Schwefelpräparaten zur Bekämpfung von Echtem Mehltau als ein bislang unabdingbares Pflanzenschutzmittel für den Ökolandbau (KÜHNE UND FRIEDRICH, 2003 a) wiederholt zur kurzfristigen

Verlängerung der Zulassung geführt. Auch Kupferpräparate dürfen weiterhin im ökologischen Landbau mit begrenzten Aufwandmengen zur Bekämpfung Falscher Mehltaupilze eingesetzt werden, da gegenwärtig keine ausreichenden alternativen Lösungen als Ersatz für Kupferpräparate zur Verfügung stehen (vgl.: Verordnung (EWG) Nr. 2092/91). Dennoch bleibt die Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Landbau eine Aufgabe von höchster Priorität. Somit besteht eine hohe Dringlichkeit zur Entwicklung innovativer Präparate zur Bekämpfung von Mehltaupilzen im ökologischen Pflanzenbau (JAHN UND BEER, 1999; KÜHNE UND FRIEDRICH, 2003 b). Aber auch für den integrierten bzw. konventionellen Anbau wären Alternativen oder Supplemente, die zu einer Reduzierung und effektiveren Nutzung der gut wirksamen synthetischen Fungizide führen, im Hinblick auf die Rückstandproblematik bei erntenaher Anwendung, das Resistenz-Management und zur Entlastung der Umwelt erwünscht, um die Produktion qualitativ hochwertiger Lebensmittel mit Hilfe von umweltschonenden Maßnahmen zu optimieren.

1.2 Forschungsziel

Übergeordnetes Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung innovativer Pflanzenschutzprodukte zur Bekämpfung von Mehltaupilzen als Alternativen zu den kupfer- und schwefelhaltigen Pflanzenschutzmitteln sowie zur Verminderung des Pestizideinsatzes in anfälligen Kulturen des ökologischen als auch konventionellen (integrierten) Wein-, Garten- und Ackerbaus. Neben einer Entlastung der Umwelt sollte dadurch ein Beitrag zur fortschrittlichen Produktion qualitativ hochwertiger und zugleich rückstandsfreier Lebensmittel geleistet werden.

1.3 Allgemeines Arbeitsprogramm und Arbeitsgruppen

Bei den durchzuführenden Arbeiten wurde schrittweise vorgegangen; das heißt, der Schwerpunkt lag zunächst auf der Prüfung ausgewählter Agenzien hinsichtlich ihres Wirkungspotentials unter kontrollierten Bedingungen. Neben den Prinzipien der Wirkstoffsuche und Wirkstoffoptimierung mittels Screeningmethoden anhand von Befallsbonituren sollte eine am Wirkort orientierte Wirkstoffforschung betrieben werden. Hierbei ging es um den eindeutigen Nachweis von Wirkprinzipien auf der

Basis von Funktionsmechanismen der Pathogenabwehr. Dazu wurde eine Arbeitsteilung vereinbart, nach der sich die Arbeitsgruppe am Institut für Phytomedizin auf den Teilaspekt der Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Hilfsstoffe und Kupfer-Ersatzstoffe zur Bekämpfung Falscher Mehltäupilze (*Peronosporales*) spezialisierte. Die Arbeitsgruppe am Institut für Pflanzenernährung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Sonderkulturen und Produktionsphysiologie, Fachgebiet Weinbau bearbeitete die Aufgabe der Entwicklung von umweltfreundlichen Alternativen zur Bekämpfung von Echten Mehltäupilzen (*Erysiphales*). Auf Grundlage der so gewonnenen Datenbasis sollten anschließend aussichtreiche Wirkstoffformulierungen ausgewählt werden um diese auf ihre Praxistauglichkeit zu testen.

B TEILPROJEKT: „ENTWICKLUNG INNOVATIVER PFLANZEN-SCHUTZPRODUKTE UND -VERFAHREN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE“

2 Spezielle Problemlösungsansätze und Literaturüberblick

Ansatzpunkte zur Entwicklung innovativer Pflanzenschutzprodukte und -verfahren als Alternativen zur Bekämpfung Echter Mehltaupilze ergaben sich zum einen aus den Kenntnissen über die resistenzstärkenden Wirkungen, die von einer verbesserten Silizium (Si)-, Mangan (Mn)- und Zink (Zn)-Versorgung der Pflanzen ausgehen. Zum anderen haben bei der Suche nach alternativen Pflanzenschutzmethoden auf Naturstoffbasis in jüngster Zeit verschiedene Pflanzenextrakte wieder verstärkt Beachtung gefunden. Dazu werden Pflanzen verwendet, deren potentielle Schutzwirkung teilweise schon seit langem bekannt ist. Bekannt für seine fungitoxische Wirkung und zugleich hohen Mn- und Zn-Gehalte ist der Knoblauch (*Allium sativum* L.).

2.1 Literaturüberblick zur Bedeutung von Silizium, Mangan und Zink für die Ausprägung von Resistenzmechanismen bei Pflanzen

2.1.1 Silizium

Mehrere Untersuchungen an Kulturpflanzen aus der Familie der Gramineen wie Reis, Weizen und Gerste belegen die resistenzstärkende Wirkung hoher Si-Konzentrationen in der Pflanzensubstanz (GERMAR, 1934; GROSSE-BRAUCKMANN, 1957; LEUSCH und BUCHENAUER, 1988 a und b; JIANG et al., 1989, DATNOFF und SYNDER, 1991). Auch an Reben und anderen dikotylen Pflanzenarten wurde die befallsreduzierende Wirkung von Si gegenüber Echten Mehltaupilzen bestätigt und es scheint, dass pilzresistente Rebsorten größere Silikateinlagerungen bilden als anfällige (ADATIA und BESFORD, 1986; BLAICH and WIND, 1989; BOWEN et al., 1992; GRUNDHÖFER, 1994; LAFOS, 1995). BUCHENAUER und BORGHOFF (1982) berichten, dass die erhöhte Resistenz von Getreidepflanzen gegenüber Pilzkrankheiten nach Anwendung siliziumreicher Dünger

auf einer Hemmung der Penetration des Erregers beruht. In diesem Zusammenhang werden von LEUSCH und BUCHENAUER (1988 a und b) zwei unterschiedliche Wirkungsmechanismen als Erklärung für die befallsmindernde Wirkung von Si beschrieben. Zum einen lagern sich große Mengen des als Kieselsäure aufgenommenen Siliziums an Orten erhöhter Transpiration wie beispielsweise den Blättern ab und bilden in und unterhalb der Epidermiszellwand zusammenhängende Schichten von sogenanntem Bio-Opal (YOSHIDA et al., 1962). Durch diese Si-Inkrustationen erlangen die Blätter eine besondere Festigkeit, welche das Eindringen von Pathogenen hindert. Neben dieser unabhängig von einer Pilz-Infektion ausgebildeten Si-Ablagerung kann die befallsreduzierende Wirkung hoher Si-Gehalte auch durch eine verstärkte postinfektionelle Silikatablagerung in der Umgebung von Penetrationsstellen eines Pathogenes erklärt werden (KUNOH and ISHIZAKI, 1975). Wenn die Pflanze ständig über ein hohes Level an noch nicht in den Zellwänden abgelagertem und polymerisiertem Si verfügt, kann an den Penetrationsstellen pathogener Pilze verstärkt Si akkumuliert werden, um so eine Infektion zu unterbinden (SAMUELS et al., 1991). In Untersuchungen mit Weizenmehltau konnten LEUSCH und BUCHENAUER (1988 b) zudem zeigen, dass die kurzfristig erfolgte Akkumulation in der Umgebung der Pilzappressorien gleichzeitig mit einer starken Mn-Anreicherung einherging. Bereits WILLIAMS und VLAMIS (1957) beschreiben den positiven Einfluss von Si auf die Mobilität von Mn innerhalb der Pflanze.

2.1.2 Mangan und Zink

BRUCK and MANION (1980) als auch BRAIN and WHITTINGTON (1981) haben beobachtet, dass der Mn-Gehalt in pilzresistentem Pflanzengewebe höher ist als in krankheitsanfälligen. Dass Mn eine befallsreduzierende Wirkung auf Echte (COLQUHOUN, 1940; VLAMIS and YARWOOD, 1962; ROBINSON, 1978) und Falsche (DOROZHKIN and KUSTOVA, 1955; MUDICH, 1967; BALASUBRAMANIAN, 1980) Mehltaupilze hat wurde mehrfach belegt. Mögliche Wirkungsmechanismen bei der Unterdrückung von Pilzkrankheiten durch Mn stehen unter anderem im Zusammenhang mit einer direkt fungiziden Wirkung von Mn^{2+} , welche durch die Akkumulation von Mn an den Infektionsstellen verstärkt werden kann (HUBER and WILHELM, 1988). Auch indirekt wird Mn durch seine wichtige Rolle bei der

pflanzeigenen Synthese von phenolischen Komponenten und Lignin wirksam. Phenolische Substanzen wirken als Phytoalexine direkt fungitoxisch und können darüber hinaus als Signalsubstanzen systemisch induzierte Resistenzreaktionen vermitteln (GRAHAM and ROVIRA, 1984; DERCKX et al., 1995). Eine gesteigerte Ligninsynthese der Pflanzen bei höherer Mn-Versorgung verbunden mit der Ausbildung mechanischer Barrieren infolge verstärkter Lignineinlagerung in die Zellwände, hindert pathogene Pilze am weiteren Eindringen in das Pflanzengewebe und führt als induzierte Abwehrreaktion zu einer Isolierung der befallenen Stellen (SKOU, 1981). Es entstehen lokale Zellwandverdickungen unterhalb der Penetrationsstellen (Papillen), welche neben Lignin das gegen pilzliche Hydrolasen resistente Polysaccharid Kallose (1,3- β -Glucan) und hydroxyprolinreiches Glycoprotein enthalten (YOKOYAMA et al., 1991; BROWN et al., 1998). Auch bei der Synthese von Kallose ist Mn^{2+} als Cofaktor von Bedeutung (GIBEAUT and CARPITA, 1993, TSAI and WANG, 2003). Darüber hinaus konnten PIPERNO et al. (2002) und DORWEILER and DOEBLEY (1997) an Gurken und Mais zeigen, dass Silikateinlagerung und Lignifizierung genetisch korrelierte Prozesse sind. Insbesondere bei den Si-reichen Gramineen kommen auch Silikate in den Papillen vor (SAMUELS et al., 1994). Erfolgreich ausgebildete Papillen sind sehr effektive mechanische Barrieren die durch eindringende Pilze kaum überwunden werden können (SCHOPFER und BRENNICKE, 1999). Papillen werden auch in krankheitsanfälligerem Pflanzengewebe gebildet (HEATH, 1974; RIDE and PEARCE, 1979), allerdings wird hier ein niedrigerer Prozentsatz der angreifenden Erreger aufgehalten als in resistentem Gewebe, da der Vorgang verzögert und in geringerem Umfang abläuft. Ob die Papillenbildung erfolgreich verläuft, hängt davon ab, ob die pflanzlichen Abwehrreaktionen rechtzeitig eingeschaltet werden und dann in ausreichendem Ausmaß ablaufen, was nur möglich sein kann, wenn die Baustoffe der Papillen (Lignin, Kallose, Silikate) ausreichend gebildet bzw. nachgeliefert werden (CONRATH und KAUSS, 2000). In diesem Zusammenhang wäre zu prüfen, ob mittels einer optimierten Si- und Mn-Versorgung die Ausbildung von Papillen, und damit der Resistenzgrad anfälliger Pflanzengenotypen, positiv beeinflusst werden kann.

Auch die verstärkte Bildung freier Radikale am Infektionsort verbunden mit einer lokalen Induktion zelleigener Radikalfängersysteme scheint bei der Abwehrreaktion

eine Rolle zu spielen, wobei Mn neben Cu und Zn hier eine Bedeutung als enzymatischer Cofaktor der Superoxiddismutase zukommt (KIBA et al., 1997; HEATH, 1999). Sowohl Si als auch Mn können fungistatische Phenolkomplexe bilden (CHERIF, 1994; RENGEL et al., 1994). Über die Wechselbeziehungen zwischen Si, Mn und Phenolen bei der Pathogenabwehr ist aber bislang noch wenig bekannt. In Untersuchungen von ROGALLA (2001) konnte jedoch gezeigt werden, dass bei erhöhtem Angebot von Si die Toleranz der Gurke gegenüber hohen Mn-Konzentrationen verbessert und so das Auftreten von Symptomen der Mn-Toxizität verhindert werden kann, weshalb das volle Wirkungspotential von Mn wahrscheinlich nur bei ausreichender Si-Versorgung ausgeschöpft werden kann. Auch wird durch erhöhte Konzentrationen an gelöstem Si die zügige Verlagerung von phenolischen Komponenten und Ligninbausteinen zu den Infektionsstellen der Pathogene gefördert und so die damit verbundenen Abwehrmechanismen gestärkt (MENZIES et al., 1991; vgl. MARSCHNER, 1995). Dieser Aspekt verdeutlicht, dass bei der angestrebten Suche nach Alternativen zu synthetischen und schwefel- bzw. kupferhaltigen Fungiziden eine gleichzeitig optimierte Si- und Mn-Versorgung einen vielversprechenden Ansatz darstellt um sowohl die Siliziuminkrustierung und Lignineinlagerung in den Epidermiszellwänden unterstützen, als auch den Silizium-Pool und das Manganlevel im pflanzlichen Gewebe erhöhen, was für die lokalen Si- und Mn-Akkumulationen an den Infektionsstellen wichtig ist. Voraussetzung ist es aber, unter anderem ein stetig hohes Level an mobilem (monomeren) Si im Spross sicher zu stellen, da Silizium aus bereits in den Zellwänden eingelagerten Siliziumpolymeren nicht wieder mobilisiert werden kann (SAMUELS et al., 1991).

Ähnliches gilt auch im Bezug auf Mangan das mit dem Xylemsaft als Mn^{2+} -Ion von den Wurzeln über den Transpirationsstrom in den Spross gelangt und in der Pflanze als weitgehend immobil gilt, wobei unzureichende Si-Versorgung die Beweglichkeit des Mangans in der Pflanze zusätzlich beeinträchtigt (WILLIAMS und VLAMIS, 1957). Über die Verlagerbarkeit von Mangan im Phloem ist keine allgemeine Aussage möglich. Nach VAN GOOR und WIERSMA (1974) kann Mangan nicht im Phloem transportiert werden und dementsprechend in den oberirdischen Pflanzenteilen so gut wie nicht in Richtung der Wurzel rückverlagert werden. HANNAM et al. (1985)

vermuten allerdings, dass im Wurzel- und Stengelgewebe gespeichertes Mangan remobilisiert und umverlagert werden kann, nicht aber wenn es bereits im Blattgewebe festgelegt wurde. Manganmangelsymptome treten daher bei nachlassender Manganversorgung zuerst an den jüngeren Pflanzenteilen auf. Zumindest für eine begrenzte Phloem-Mobilität von Mangan spricht die Verteilung von Mangan in der Pflanze, das über das Blatt appliziert wurde wie Untersuchungen von EL-BAZ et al. (1990) an Mais und Ackerbohnen belegen. Dabei konnte die Manganaufnahme und Verlagerung in die jüngsten Blätter nach Blattdüngung der älteren Blätter mit Manganchelat (Mn-EDTA) schneller erfolgen als mit Mangansulfat (MnSO₄). Auch Zink wird von der Pflanze in Form von Zn²⁺- und Zn(OH)⁺-Ionen oder unter Zuhilfenahme von Chelatoren in wasserlöslicher Form aufgenommen und vorwiegend passiv im Xylem transportiert. Die Phloemmobilität ist wie bei Mangan auch bei Zink nur bedingt vorhanden und noch nicht restlos geklärt.

Zwar ist die Rolle der einzelnen Nährstoffe und deren Zusammenspiel bei der Ausbildung von Resistenzmechanismen bei weitem noch nicht vollständig erforscht, aber auch die Mikronährstoffe Zn, Kupfer (Cu), Eisen (Fe) und Bor (B) erfüllen neben Mn und Si Schlüsselfunktionen bei der Resistenzausprägung, unter anderem durch ihre Funktion bei der Bildung und Entgiftung von Sauerstoffradikalen und Wasserstoffperoxid am Infektionsort als Glied in der Kaskade von Abwehrmechanismen des pflanzlichen „Immunsystems“. B und Cu haben zudem einen starken Einfluss auf den Phenolstoffwechsel und damit auf die Bildung von Lignin und Phytoalexinen (LEVIS, 1980; GRAHAM, 1983; BAVARESCO UND EIBACH, 1987; MARSCHNER, 1995; MEHDY et al., 1996; BOLWELL AND WOJTASZEK, 1997; ÇAKMAK, 2000; KAWAOKA, 2000). Aus vergleichenden Untersuchungen ging allerdings hervor, dass in vielen Fällen Mn der kritische Faktor bei der Ausbildung von Resistenzreaktionen ist, dem unter den Mikronährstoffen eine herausragende Bedeutung als Schutzfaktor zur Abwehr von pilzlichen Pathogenen zukommt (HUBER, 1989). Der im Gegensatz zu Cu und insbesondere B vergleichsweise weite physiologische Bereich zwischen defizitären und toxischen Mn- bzw. Zn Konzentrationen im pflanzlichen Gewebe lässt zudem einen größeren Spielraum für eine zusätzliche Steigerung der pflanzeneigenen Abwehrkräfte oberhalb des rein

physiologischen Mn- und Zn-Bedarfs offen, sodass hier umfangreichere Möglichkeiten für eine Beeinflussung der Krankheitsresistenz über Düngemaßnahmen zu erwarten sind (HUBER, 1989; HILL, 1999).

2.2 Literaturüberblick zum Wirkungspotential von Knoblauch

Eine der ältesten und bekanntesten Heilpflanzen ist der Knoblauch (*Allium sativum* L.). Die heilkräftigen Wirkungen der Knoblauch-Knolle werden bereits seit mehr als 5.000 Jahren genutzt und fast alle berühmten Ärzte wie Hippokrates, Paracelsus oder Hildegard von Bingen haben die Qualitäten des Knoblauchs gerühmt. Im 19. Jahrhundert begann Louis Pasteur mit der Erforschung der antibakteriellen Eigenschaften der Knoblauch-Knolle. Das schwefelhaltige „Allicin“, ein Wirkstoff des Knoblauchs, wirkt generell antimikrobiell, gegen Pilze, Bakterien und sogar Viren (FOCKE et al., 1990; ANKRI AND MIRELMAN, 1999) . Darüber hinaus zeichnet sich Knoblauch durch seine im Vergleich zu anderen Pflanzenarten um ein Vielfaches höheren Konzentrationen an Mineralstoffen wie Schwefel (50 mg/kg), Zink (0,58 mg/kg), Mangan (0,46 mg/kg), Bor und Kupfer (0,15 mg/kg) aus, die allesamt wichtige Funktionen bei der Ausbildung von Abwehrmechanismen des menschlichen, tierischen und auch pflanzlichen Organismus haben (die Angaben beziehen sich auf das Frischgewicht) (KOCH AND LAWSON, 1996; SCHOLTEN, 2001). Auch an Pflanzen wurden bereits wissenschaftliche Untersuchungen zum Einsatz von Knoblauchextrakten zur Bekämpfung von Bakterien- und Pilzkrankheiten erfolgreich durchgeführt (ARK AND THOMPSON, 1959; RUSSELL AND MUSSA, 1977). Zur Anwendung von Knoblauch gegen Echte Mehltäupilze in der Pflanzenproduktion lagen nach unseren Kenntnissen noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor.

3 Methodik (allgemeiner Teil)

3.1 Pflanzen-, Pathogenmaterial und Versuchsaufbau

Als Modellsystem für die Durchführung von Versuchen zur Entwicklung und Prüfung neuer Bekämpfungsverfahren gegen Echte Mehltaupilze diente der Echte Mehltau (*Oidium tuckeri*, Hauptfruchtform: *Uncinula necator*, (Schw.) Burr.) an Weinreben (*Vitis vinifera* L.), mit der Aussicht, dass die gewonnenen Erkenntnisse auf die Bekämpfung von Echten Mehltaupilzen an anderen Kulturpflanzen übertragbar sind. Dazu wurden bewurzelte Zweiaugenstecklinge aus dem einjährigen Holz der stark mehltauanfälligen Rebsorte „Bacchus“ ((Silvaner x Riesling) x Müller-Thurgau) als Versuchspflanzen verwendet. Zunächst wurden die dormanten Steckhölzer zur Ausbildung von Wurzeln in feuchtem Sand bei 25°C Lufttemperatur und 85-90% rel. Luftfeuchtigkeit vorgetrieben bis sie nach 4 bis 5 Wochen einige 4-5cm lange Wurzeln und Triebe von 15 bis 20 cm Länge ausgebildet hatten. Anschließend wurden die Reben mit dem vorbereiteten Versuchsboden in runde Töpfe aus schwarzem Polypropylen von einheitlichem Fassungsvermögen gepflanzt. Die verschiedenen Versuche zum Einsatz von Boden- und Blattapplikationen mit Silikaten, Mangan, Zink und Knoblauchextrakt zur Bekämpfung von Mehltaupilzen (*Oidium*) wurden in Klimakammern beziehungsweise Vegetationshallen durchgeführt, wo die Reben (Töpfe) entsprechend dem Plan einer randomisierten Blockanlage aufgestellt wurden. Es wurden je nach Versuchsanstellung 4 bis 8 Gefäßwiederholungen angesetzt und jeder Topf mit einem Steckling bepflanzt. Parallel zu den Applikations- und Aufnahmeversuchen wurden die Auswirkungen auf die Krankheitsresistenz gegenüber Mehltau in Inkubationsversuchen getestet. Als pathogenes Infektionsmaterial zur Inokulation der Versuchspflanzen dienten Konidien von *U. necator* die als wässrige Suspension mit 10. bis 50.000 Konidien/ml mit Hilfe von PE-Sprühflaschen appliziert wurden.

3.2 Präparate der Versuchsdurchführung

3.2.1 Silizium-, Mangan- und Zink-Präparate

Bei den zur Behandlung der Versuchsreben eingesetzten Silikaten handelte sich um wasserlösliches Kaliumwasserglas (Brenntag GmbH, Mülheim) und schwer lösliche aber extrem feinteilige (Partikelgröße im Nanobereich) Kieselsäure in dispergierter Form, die von Degussa Goldschmidt AG unter dem Namen „Aerosil®“ aus Chlorsilanen hergestellt wird. In der Industrie werden Aerosil®-Produkte unter anderem zur Erhöhung der Kratzfestigkeit von Lacken eingesetzt (www.degussa.de). Beide Siliziumformen enthalten etwa 9% Si (entspr. 20% SiO₂).

Zur Mn- und Zn-Applikation wurden sowohl Sulfat- als auch Chelat-Formen zur Blatt- und Bodenapplikation eingesetzt. Die verwendeten Sulfatformen waren wässrige Lösungen von Mangan (II)-Sulfat Monohydrat (MnSO₄ · H₂O) und Zinksulfat-Heptahydrat (ZnSO₄ · 7H₂O). Chelatisierte Metallkationen sind in ihren Eigenschaften sowohl den Sulfaten oder Carbonaten als auch Oxiden oder Hydroxiden im Hinblick auf die Nährstoffaufnahme durch die Pflanze, ihre problemlose Handhabung, die Eignung als Mischungspartner und die gute Pflanzenverträglichkeit überlegen. Unter dem Namen „FOLICIN®“ werden von der Firma JOST GmbH (D-58590 Iserlohn) Präparate für die gezielt Blatt- und Bodenapplikation einzelner Mikronährstoffe angeboten die es ermöglichen den Versorgungsstatus der Pflanze selektiv zu beeinflussen und speziell für diesen Zweck entwickelt wurden. Die zur Versuchsdurchführung verwendeten Präparate „FOLICIN®-Mn flüssig“ und „FOLICIN®-Zn flüssig“ enthalten 80 g Mn/l bzw. 91 g Zn/l, jeweils als wasserlösliches Chelat von Ethylen-diamin-tetra-acetat (EDTA).

3.2.2 „Wirkstoffaktivatoren“ und Netzmittel der Versuchsdurchführung

„Greemax®“ ist ein Wirkungsverbesserer und Wirkstoffaktivator der die Penetration, Translokation und Effektivität von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (z.B. Fungiziden) verbessert. Es funktioniert als kolloidales Transportsystem für Wirkstoffe auf der Basis von Liposomen. Da die Greemax®-Moleküle aus einem lipophilen und einem hydrophilen Teil bestehen können sie schwer lösliche Wirkstoffe emulgieren

bzw. den Transport hydrophiler Moleküle durch die hydrophobe Blattoberfläche erleichtern. Greemax ist einsetzbar bei Blatt- und Bodenbehandlung im Freiland und im Glashaus (www.greemax.de). Da der Wirkungsmechanismus von Greemax[®] unspezifisch ist und es in Kombination mit den meisten Pflanzenschutz- und Düngemitteln angewendet werden kann, könnte es nicht nur die Wirkungseffizienz herkömmlicher Fungizide verbessern, sondern möglicherweise auch in Verbindung mit Silikaten, Mn- und Zn-Düngerformen, deren Aufnahme über die Wurzel oder das Blatt erleichtern, die Mobilität von Si, Mn und Zn im pflanzlichen Gewebe verbessern und somit zugleich die prä- und postinfektionellen Resistenzmechanismen stärken.

Netzmittel wie „Break-Thru[®] S240“ (Degussa, Goldschmidt AG) setzen die Oberflächenspannung wässriger Wirkstofflösungen herab und sorgen dadurch für eine gleichmäßige Verteilung auf der Blattoberfläche. Durch Zusatz von Break-Thru[®] ist es auch möglich die Benetzung der hydrophoben Blattoberfläche mit Silikatlösungen zu verbessern (STAER, 2003). Offen ist inwieweit Mittel wie Break-Thru[®], zu einer erhöhten Mobilität von mitangebotenem Si, Mn und Zn im pflanzlichen Gewebe führen können.

3.2.3 Pflanzenextrakt aus Knoblauch

Knoblauchextrakt wurde aus frischen handelsüblichen Knoblauchsprosszwiebeln hergestellt. Dazu wurden die äußeren trockenen Schalen entfernt und das Frischgewicht der Knoblauchzehen bestimmt. Die Zehen wurden fein zermahlen und in im Gewichtsverhältnis 1 Teil Knoblauchmasse mit 9 Teilen deionisiertem Wasser vermischt. Anschließend erfolgte die Abtrennung der Feststoffen mit Hilfe eines Haushaltsentsafters. Der so gewonnene Wasserextrakt wurde jeweils am Tag der Anwendung frisch hergestellt.

3.3 Versuchsauswertung und Aufbereitung der Pflanzen

Zur Bewertung der Resistenz- bzw. Schutzwirkung der durchgeführten Maßnahmen wurde die Mehлтаubefallsstärke als prozentualer Anteil der befallenen Blattfläche an der gesamten Blattfläche erfasst. Eine visuelle Boniturhilfe diente der besseren Standardisierbarkeit bei der Abschätzung (MOLL et al., 1996). Am Ende der Versuche

wurden die Reben der Si, Mn- und Zn-Aufnahmeversuche am basalen Triebende abgeschnitten und getrennt nach Blattspreiten („Blätter“) und Sprossachse mit Blattstiel geerntet. Nach Bestimmung des Frischgewichts wurde das Trockengewicht nach Trocknung im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz ermittelt. Sowohl bei der Mehлтаubonitur als auch bei der Versuchsernte wurden zwischen den Fraktionen „alte Blätter“, „mittlere Blätter“ und „junge Blätter“ entsprechend der Insertionshöhe der Blätter an der Sprossachse unterschieden.

3.4 Mineralstoffanalysen

Zu untersuchendes Pflanzenmaterial wurde nach dem Trocknen in Anlehnung an die Methode von FRIDLUND et al. (1994) mittels Mikrowellenaufschluss mineralisiert und die so gewonnenen Lösungen zur Bestimmung der Mineralstoffkonzentrationen (Si, K, Mn, Zn) am Atom-Absorptions-Spektrometer (AAS) oder mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma (ICP-OES) analysiert.

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit Hilfe der Varianzanalyse. Viele statistische Auswertungsmethoden haben zur Voraussetzung, dass die auszuwertenden Daten aus einer normalverteilten Grundgesamtheit stammen. Falls die Verteilungen der Messwerte nicht durch die Normalverteilungen beschrieben werden konnte, wurden die Daten durch eine geeignete mathematische Funktion transformiert, oder die Kruskal-Wallis Rang-Varianzanalyse angewandt. Bei Signifikanzen des F-Wertes erfolgte die Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Behandlungen je nach Situation mit dem Dunnett-, Tukey bzw. Scheffé-Test. Der Dunnett-Test vergleicht alle Varianten nur mit der Kontrollvariante während beim Tukey- und Scheffé-Test alle Varianten paarweise miteinander verglichen werden. Voraussetzung für die Anwendung des Tukey-Testes ist, dass bei allen Varianten die Anzahl der Wiederholungen gleich ist, beim Scheffé-Test kann die Anzahl der Wiederholungen auch ungleich sein. Um gesicherte Unterschiede in Tabellen und Diagrammen zu kennzeichnen wurden Buchstaben (a, b, c, ...) oder Sternchen (* = 5 %, ** = 1 %, *** = 0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit) benutzt. Nur Werte die keine

gemeinsamen Buchstaben besitzen unterscheiden sich signifikant, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit, die Nullhypothese, dass es keinen Behandlungseffekt bzw. Unterschied gibt, fälschlich abzulehnen, jeweils angegeben ist.

B I STRATEGIEN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE MIT HILFE VON SILIZIUM, MANGAN UND ZINK

Innovative Produkte zum Schutz der Pflanze vor Echten Mehltaupilzen mit Hilfe von Si, Mn und Zn können grundsätzlich auf zweierlei Weisen funktionieren. Zum einen über die aktive Stärkung pflanzlicher Resistenzmechanismen auf physiologischer Ebene durch gezielte Förderung des Silizium-, Mangan- und Zinkstatus der Pflanzen über Wurzel- bzw. Blattapplikationen (Strategie A). Zum anderen lagen bereits zu Beginn der Arbeit Hinweise auf die Wirksamkeit synthetischer Siliziumkrusten als externe Beschichtung der Blattoberfläche vor, welche als rein mechanische Infektionsbarrieren ohne pflanzenphysiologische Wirkung, vergleichbar einer Schutzlackierung, Pathogene vom Eindringen in das Blattgewebe abhalten können (Strategie B) (Bowen et al., 1992; Menzies et al., 1992; Reynolds et al., 1996; Yildirim et al., 2002).

4 Strategie A: Förderung der Silizium-, Mangan- und Zinkaufnahme über Wurzel und Blatt zur Stärkung der prä- und postinfektionellen Resistenzmechanismen der Pflanze

Während die Mn und Zn-Versorgung von Pflanzen über Blattdüngung relativ einfach beeinflusst werden kann (DRAYCOTT AND FARLEY, 1973; EL-BAZ et al., 1989), bereitet die Förderung der Silikateinlagerung in das Blattgewebe insbesondere bei Pflanzenarten mit schwach ausgeprägtem Si-Anreicherungsvermögen, zu denen auch die Weinrebe, Obstbäume und die meisten anderen dikotylen Kulturpflanzen zählen, größere Schwierigkeiten (Mengel, 1979; KAUFMAN et al., 1981; MUNK 1982). Ziel des ersten Arbeitsabschnittes war es, zunächst in Modellexperimenten die Aufnahme und

Verlagerung von Silizium in verschiedenen Angebotsformen (Kaliwasserglas, Aerosil®) über die Wurzeln und das Blatt unter kontrollierten Bedingungen zu charakterisieren, um so einen Überblick über die Möglichkeiten zur Steigerung der Siliziumaufnahme und Einlagerung im Blattgewebe zu erarbeiten (Kap. 4.1 bis 4.3). Wie die Siliziumaufnahme bei nicht Si-akkumulierenden Pflanzen, wie den Weinreben, auf das notwendige Niveau zur wirkungsvollen Ausprägung von Resistenzmechanismen angehoben werden kann, war eine zentrale Fragestellung bei der Versuchsdurchführung. Begleitend wurde untersucht ob durch die Wirkung des liposomalen Wirkstoffaktivators Greemax® als Carrier die Aufnahme und Mobilität von Silikatapplikationen positiv beeinflusst werden kann. Im zweiten Arbeitsabschnitt wurde ein Versuch zum physiologischen Wirkungspotential von Si, Mn und Zn bei der Abwehr von Echem Mehltau durchgeführt (Kap. 4.4)

4.1 Versuch zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Bodenapplikation von Silikaten und Greemax®

4.1.1 Versuchsfrage

Kann der physiologische Si-Status von Weinreben durch Bodenapplikation von Kaliwasserglas bzw. Aerosil® gesteigert werden und kann die Si-Aufnahme über die Wurzel durch additive Anwendung von Greemax® zusätzlich gefördert werden?

4.1.2 Versuchsdurchführung

Neben einer unbehandelten Variante wurden Kaliwasserglas und Aerosil® mit je 3,6 g kg⁻¹ Boden (enstpr. 0,34 g Si kg⁻¹) alleine und kombiniert mit 0,053 ml Greemax® kg⁻¹ Boden (0,02 %ig zur Bodenlösung bei 75 % Wasserkapazität) getestet. Eine nur mit Greemax® behandelte Variante diente dazu dessen Einfluss auch isoliert betrachten zu können. Die Präparate wurden dazu vor dem Bepflanzen gleichmäßig in den Versuchsboden (Lehmboden, pH 7,6) eingemischt. Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch die Kaliumdüngewirkung des Kaliwasserglas zu vermeiden, erhielten die anderen Varianten entsprechende Kaliumgaben als Kaliumsulfat. Der Versuch umfasste sechs Varianten mit je fünf Wiederholungen. Nach einer Dauer von 47 Tagen wurde der Versuch abgeerntet und Mineralstoffanalysen an den „alten“ und

„mittleren Blättern“ durchgeführt, um den Einfluss auf die Siliziumaufnahme zu ermitteln. Zusätzlich wurden auch die K, Mn und Zn Konzentrationen im Blattgewebe bestimmt.

4.1.3 Forschungsergebnisse

4.1.3.1 Einfluss von Silikat- und Greemax®-Bodenapplikation auf das Wurzel- und Sprosswachstum von Rebstecklingen

Die Bodenapplikationen von Kaliwasserglas, Aerosil® und Greemax® hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Biomassebildung von Wurzel und Spross (Abb. 4.1).

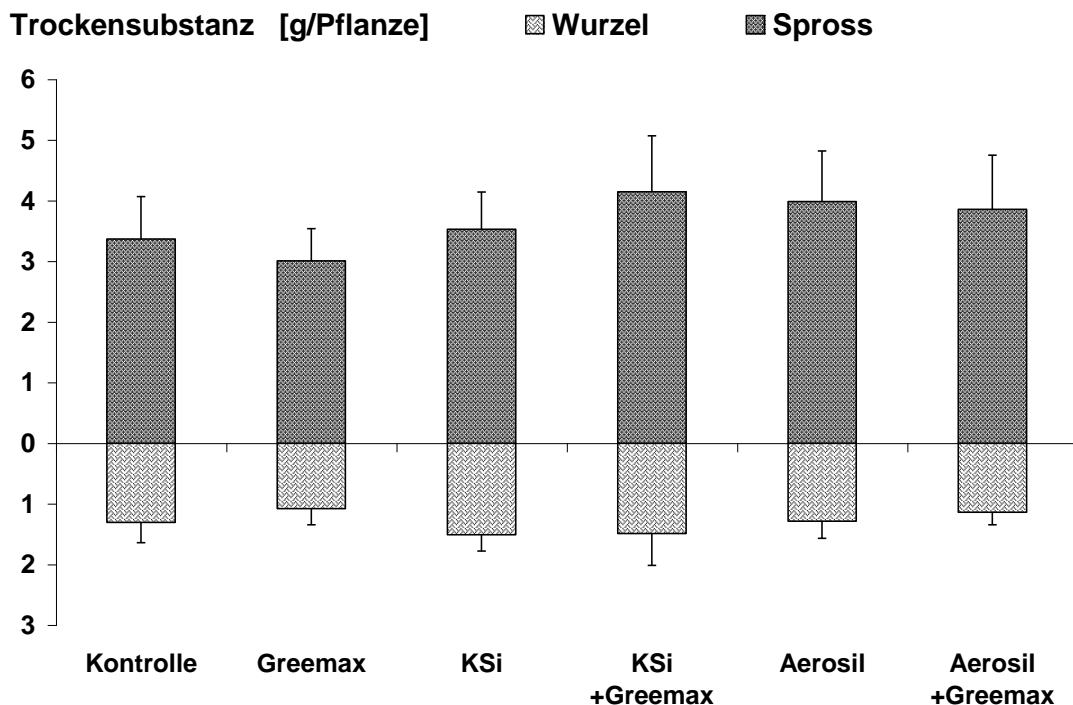


Abb. 4.1: Einfluss von Greemax-, Kaliumsilikat („KSi“)- und Aerosil®-Bodenapplikation auf das Wurzel- und Sprosswachstum (Trockengewicht) von Rebstecklingen der Sorte Bacchus nach 47 Tagen im Gefäßversuch (Es traten keine signifikanten Unterschiede auf (Tukey-, Dunnett-Test, $p \leq 0,05$), Mittelwerte $n=5$; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

Wie Abb. 4.2 zeigt war bei den Varianten „Greemax“ und „KSi+Greemax“ eine Tendenz zu reduziertem Wurzellängenwachstum erkennbar. Im Boden mit Aerosil®-Anwendung waren die Wurzel stark verbräunt und teilweise abgestorben, obwohl die Wurzelbiomasse-bildung an sich nicht reduziert war. Kombinierte Anwendung von

Aerosil® und Greemax® hatte im Gegensatz dazu keinen schädlichen Einfluss auf des Wurzelwachstum.

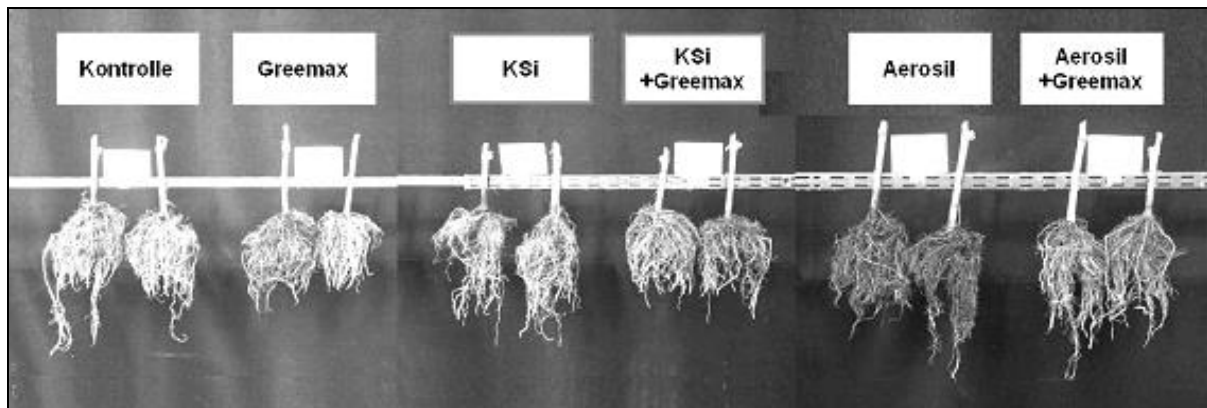


Abb. 4.2: Einfluss von Greemax®, Kaliwasserglas („KSi“)- und Aerosil®-Bodenapplikation auf die Wurzelmorphologie von Rebstecklingen der Sorte Bacchus nach 47 Tagen im Gefäßversuch

4.1.3.2 Einfluss der Bodenapplikation von Silikaten- und Greemax® auf die Nährstoffaufnahme (Si, K, Mn, Zn) von Rebstecklingen über die Wurzel:

Über alle Varianten hinweg waren die Siliziumkonzentrationen in den „alten Blätter“ generell höher als in den „mittleren Blättern“. Wie der Vergleich zwischen den Düngungsvarianten in Abb. 4.3 zeigt wurden die Siliziumaufnahme der Pflanzen am besten durch Kaliumwasserglas gesteigert, was sich am deutlichsten bei den „alten Blättern“ (um Faktor vier) bemerkbar machte. Bei den „mittleren Blättern“ war dieser Effekt schwächer ausgeprägt, aber dennoch signifikant. Bodenapplikation der dispersen Silikatform Aerosil® führte nicht zu einer Zunahme der Siliziumkonzentrationen im Blattgewebe. Offensichtlich konnte Aerosil® nicht über die Wurzel aufgenommen und in den Spross verlagert werden. Die Anwendung von Greemax® alleine und kombiniert mit den Silikaten hatte tendenziell eine reduzierte Si-Aufnahme zur Folge, wobei dieser Effekt bei zweifaktorieller Versuchsauswertung in der Fraktion „alte Blätter“ und bei paarweisem Vergleich zwischen den Varianten „KSi“ und „KSi+Greemax“ signifikant war.

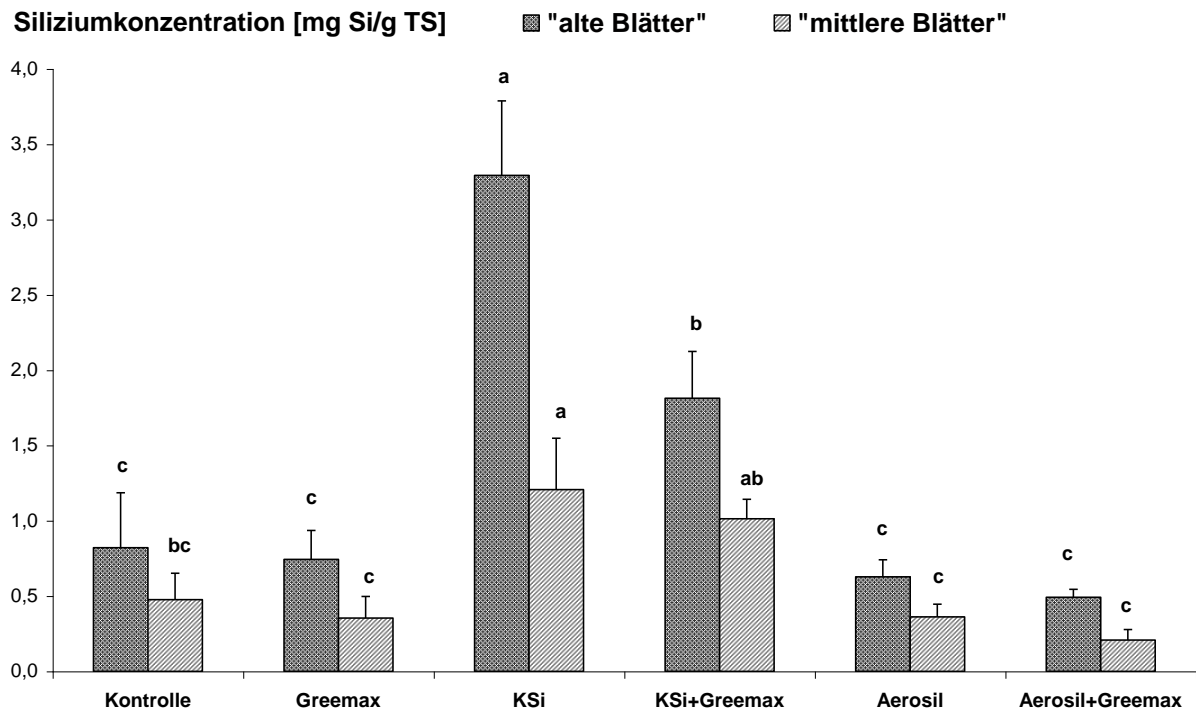


Abb. 4.3: Einfluss von Greemax[®]-, Kaliwasserglas („KSi“)- und Aerosil[®]- Bodenapplikation auf die Si-Konzentration in den „alten“ und „mittleren“ Blättern von Rebstecklingen der Sorte Bacchus nach 47 Tagen im Gefäßversuch

(Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede innerhalb einer Blattfraktion [Tukey-Test, $p \leq 0,05$]; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

Greemax[®] bewirkte im Vergleich zur Variante „Kontrolle“ deutlich höhere Mn-Konzentration im Blattgewebe der Fraktion „mittlere Blätter“ wenn es nicht zusammen mit Silikaten („KSi“, Aerosil[®]) appliziert wurde (Abb. 4.4).

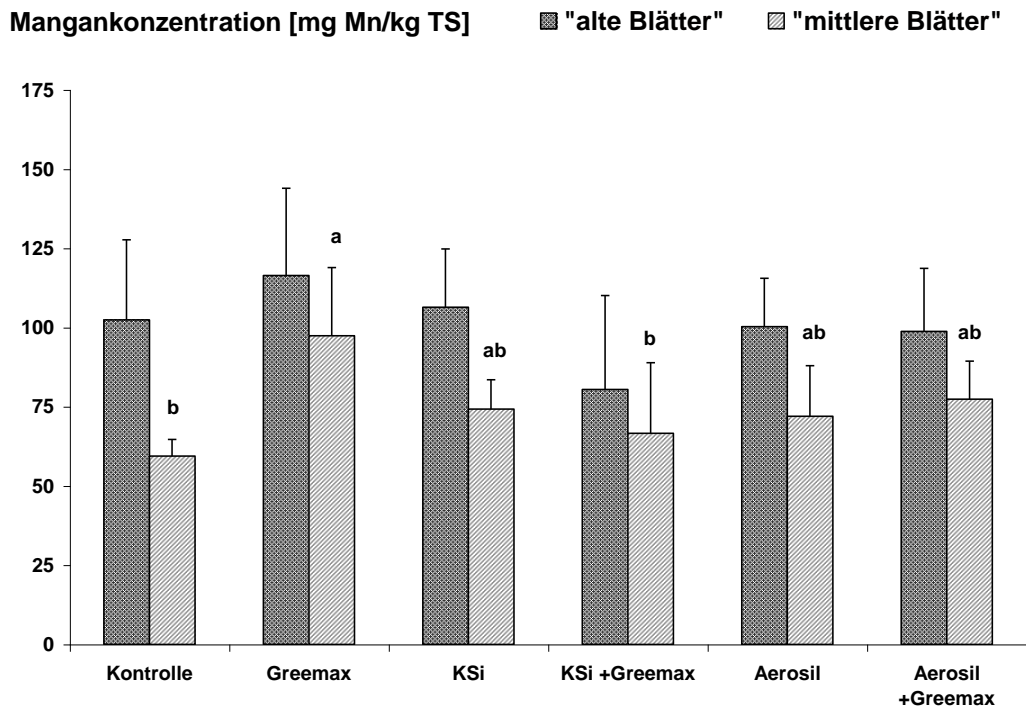


Abb. 4.4: Einfluss von Greemax[®]-, Kaliwasserglas (“KSi”)- und Aerosil[®]-Bodenapplikation auf die Mn-Konzentration in den „alten“ und „mittleren“ Blättern von Rebstecklingen der Sorte Bacchus nach 47 Tagen im Gefäßversuch

(Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede innerhalb einer Blattfraktion [Tukey-Test, $p \leq 0,05$]; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

Innerhalb der Fraktion „alte Blätter“ war der Einfluss von Greemax[®] auf die Mangankonzentration allerdings nicht deutlich ausgeprägt. Generell waren die Mn-Konzentrationen der „mittleren Blätter“ bei allen Varianten niedriger als die der „alten Blätter“. Kaliwasserglas und Aerosil[®] hatten gegenüber der unbehandelten Kontrolle keinen direkten Einfluss auf die Manganwerte, verhinderten aber bei kombinierter Anwendung die Wirkung von Greemax[®]. Ein Einfluss der Greemax[®]- und Silikat-Applikationen auf die Zink- und Kaliumkonzentrationen in den „alten“ und „mittleren Blätter“ war nicht festzustellen. Auf eine graphische Darstellung der K- und Zn-Werte wurde daher verzichtet.

4.2 Versuch zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Blattapplikation von Silikaten und Greemax®

4.2.1 Versuchsfrage

Der Versuche sollte zeigen ob als Kaliwasserglas bzw. Aerosil® angebotenes Si von Weinreben aktiv über die Blattoberfläche aufgenommen und verlagert wird und ob die Penetration und Translokation der Silikate durch Zusatz von Greemax® gefördert werden kann.

4.2.2 Versuchsdurchführung

Wie bei der Bodenapplikation wurden die beiden Silikatformen als 5,0 %ige wässrige Lösungen (0,47 % Si) („KSi“, „Aerosil®“) und „Greemax®“ (0,02 %ig) geprüft und zur Kontrolle Pflanzen nur mit deionisiertem Wasser („Dest. H₂O“) oder nicht („Kontrolle“) behandelt. Die Blattapplikation erfolgte mit Hilfe der O-Ringtechnik (STAER, 2003). Die Präparate wurden demnach in mit Vaseline auf die Blattoberseite geklebte Dichtungsringe („O-Ringe“) gefüllt (Abb. 4.5). Zum Schutz vor Verdunstung wurden die O-Ringe anschließend nach oben mit einem Deckgläschen abgedichtet. Nach einer Einwirkdauer von 10 Tagen wurde das Deckgläschen vorsichtig vom O-Ring entfernt und die verbliebene Flüssigkeit mit einer Eppendorfpipette wieder aufgenommen. Nach dem Entfernen der Dichtungsringe wurde die zuvor eingeschlossene Blattfläche mit einem geeigneten Korkbohrer ausgestochen. Auf der Blattoberfläche anhaftende Applikationsmittelreste wurden mit deionisiertem Wasser abgespült. Separat wurden die apikal von der Applikationsstelle gelegenen Mittelappen der Blätter aus der Blattspreite ausgeschnitten. Durch Untersuchung der Mittellappen sollte gezeigt werden, ob Si aus dem O-Ring heraus in das umliegende Gewebe verlagert wurde. Um eine ausreichende Probenmasse für die Nähstoffanalyse zu erhalten wurden jeweils Proben von drei benachbarten Blättern gleicher Insertionshöhe zu einer Mischprobe vereinigt.

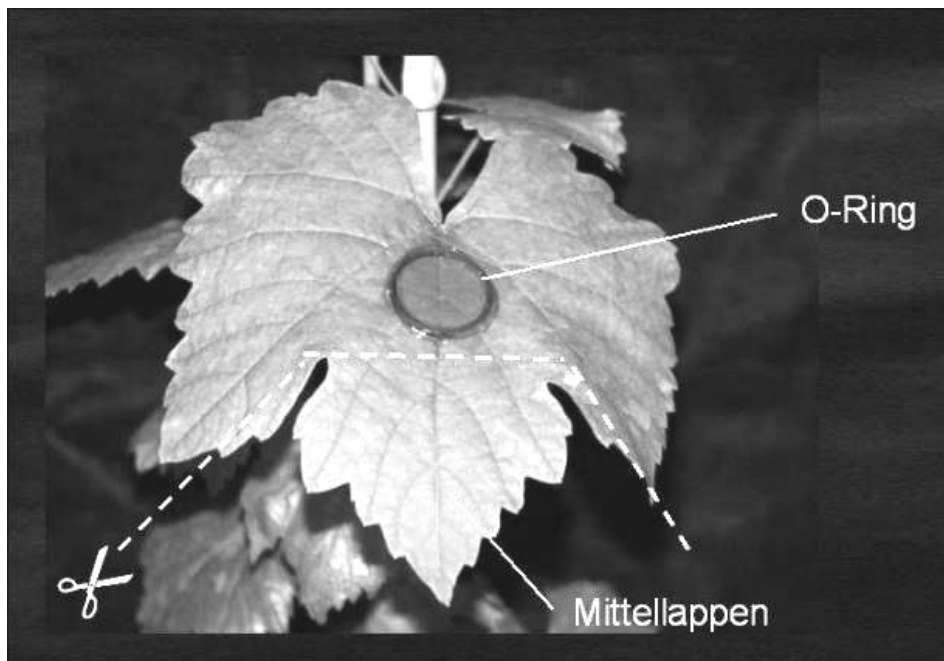


Abb. 4.5: Um die Aufnahme von Silikaten über das Blatt zu untersuchen, wurden die Präparate mit Hilfe von „O-Ringen“ auf der Blattoberseite appliziert, um so die lokale Si-Aufnahme (Blattgewebe im O-Ring) als auch eine mögliche Si-Verlagerung (Mittellappen) untersuchen zu können.

4.2.3 Forschungsergebnisse

4.2.3.1 Einfluss von Silikat- und Greemax®-Blattapplikationen auf die Siliziumaufnahme und Verlagerung im Blattgewebe von Rebstecklingen

Nach zehn Tagen Einwirkdauer der Blattapplikationen mit Kaliwasserglas bzw. Aerosil® konnten bei Si-Analyse des direkt im O-Ring gelegenen Blattgewebes nur um den Faktor zwei höhere Siliziumkonzentrationen gemessen werden. Fraglich ist ob Si tatsächlich in das Blattgewebe aufgenommen wurde oder ob es sich dabei nur um auf der Blattoberfläche anhaftende Silikatausfällungen handelte. Bei den mit Aerosil® behandelten Blättern waren die Si-Werte etwas geringer als mit Kaliwasserglas. Kombinierte Anwendung der Silikate mit Greemax® hatten keinen Einfluss auf die Si-Werte. Eine aktive Verlagerung von Silizium nach Blattapplikation der Silikate aus den O-Ring heraus in unbehandeltes Gewebe fand offensichtlich nicht statt, wie die gemessenen Konzentrationen im Blattmittellappen zeigen (Abb. 4.6). Zusätzlich wurden bei den Mineralstoffanalysen am Blattgeweben die K-, Mn- und Zn-Konzentrationen bestimmt. Dabei konnte kein signifikanter Einfluss der Silikat- und

Greemax[®]-Applikationen gefunden werden (ohne Abbildung). Ungeklärt bleibt, inwieweit Silikate auf der Blattunterseite über die Stomata besser aufgenommen werden können, da nur auf der Blattoberseite appliziert wurden. Neben den Untersuchungen am Blattgewebe wurden auch die Si- (und Kalium bei Kaliwasserglas) -Konzentrationen in den wieder aufgefangenen Applikationslösungen im Vergleich zu den Ausgangswerten am AAS bzw. am Flammenspektrometer bestimmt und keine signifikanten Veränderungen festgestellt (ohne Abbildung).

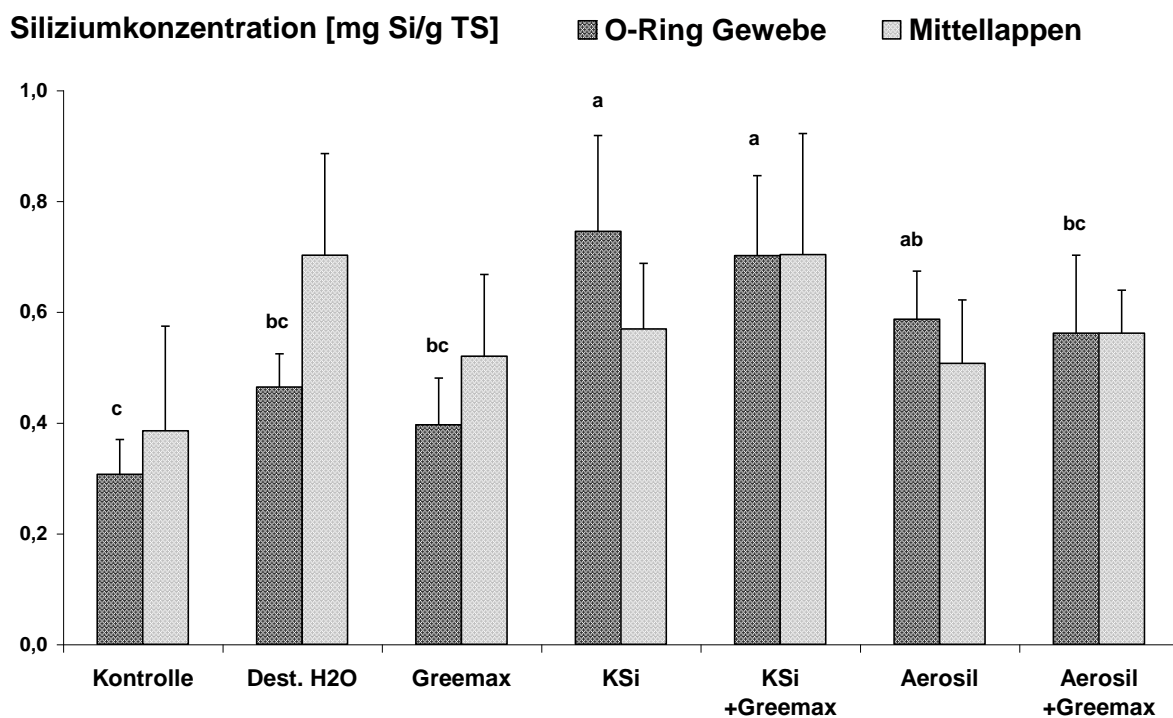


Abb. 4.6: Einfluss der Blattapplikation von Greemax[®]-, Kaliumsilikat (“KSi”)- und Aerosil[®] bei Rebstecklingen der Sorte Bacchus auf Siliziumkonzentration im innerhalb der O-Ringe gelegenen Blattgewebe und im Mittellappen der selben Blätter nach Einwirkdauer von zehn Tagen. (Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede innerhalb einer Blattfraktion [Tukey-Test, $p \leq 0,05$]; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

4.3 Versuche zur Förderung des physiologischen Si-Status von Weinreben durch Xylem-Infusion von Kaliwasserglas und Kieselsäure

4.3.1 Versuchsfrage

Forschungsziel war es exakte Daten über das Wirkungspotential von Si und den erforderlichen Si-Status im pflanzlichen Gewebe für die wirksame Ausprägung von Resistenzmechanismen bei Weinreben zu erhalten. Dazu wurde zunächst versucht mit direkter Einleitung von Silikat-Lösungen in das Xylem über Infusionskanülen den Si-Status im Blattgewebe zu steuern. Neben der Si-Aufnahme und Einlagerung im Blattgewebe sollte anschließend vor allem die kurzfristige Si- und Mn-Umverlagerbarkeit bei Pathogeneinwirkung verfolgt werden. Dazu wäre es möglich gewesen die Penetration der pilzlichen Infektionshyphen durch systematisch angeordnete Nadeleinstiche in der Epidermis zu simulieren und die Si- und Mn-Konzentrationen in den perforierten Zonen mit unbeschädigten Blattabschnitten zu vergleichen, oder Silikatakkumulationen an den Penetrationsstellen (Nadelstichen) mikroskopisch sichtbar zu machen z. B. durch Anfärbung mit Methylrot (DAYANADAN et al., 1983).

4.3.2 Versuchsdurchführung

Infusion bei Pflanzen wird in der Literatur beschrieben als eine Methode, um systemisch wirkende Pflanzenschutzmittel direkt in das Xylem von Bäumen bzw. Reben zu bringen und dadurch die Abdrift von Pestiziden wie sie bei der praxisüblichen Sprühapplikation auftritt zu vermeiden (KENNEDY and KIELBASO, 1978; DÜKER und KUBIAK, 2004). Zunächst wurden in Anlehnung an die Methode von SCHOPFER (1989) Vorversuche zu dieser Applikationstechnik mit einer Färbelösung aus Methylenblau (0,5 %ig in H₂O) durchgeführt, die es ermöglichten die erfolgreiche Einleitung und Verlagerung mit dem Transpirationsstrom visuell anhand der Färbung zu verfolgen. Dabei traten über Wochen hinweg keine Beeinträchtigungen der Vitalität an den so behandelten Reben auf, und es wurde gezeigt, dass die Methode prinzipiell funktioniert. Allerdings erfolgte die Verteilung der Färbelösung nicht gleichmäßig

über die ganze Pflanze, sondern nur zu den Blattarealen welche von den durch die Infusionsnadel zufällig getroffenen Leitbahnen versorgt wurden (Abb. 4.7, links).



Abb. 4.7: Xyleminfusion bei Rebstecklingen der Sorte Bacchus. Links: Ungleichmäßige Verteilung von Methylenblau-Lösung über das Xylem. Gefärbte Adern in der rechten Hälfte des ersten Blattes über der Infusionsstelle. Rechts: Versuchsdurchführung mit Kaliwasserglas-Lösungen

Im anschließenden Arbeitsschritt wurde ein Versuch zur Xyleminfusion von Kaliwasserglas in verschiedenen Konzentrationsstufen (0,5; 1,0; 2,5 und 10,0 g l⁻¹) durchgeführt (Abb. 4.7, rechts). GRUNDHÖFER (1994) fand bei umfangreichen Untersuchungen zum Siliziumgehalt im Xylemsaft von Weinreben je nach Rebsorte und löslichem Si-Angebot im Wurzelraum Konzentrationen von 10 bis 100 mg SiO₂ l⁻¹. Dementsprechend wurde als niedrigste Stufe im Steigerungsversuch eine Kaliwasserglaskonzentration von 0,5 g l⁻¹ (entspr. 100 mg SiO₂ l⁻¹) gewählt. Der pH-Wert der Kaliwasserglaslösungen lag über die Konzentrationsstufen hinweg zwischen pH 9,5 und pH 10,0. Als zusätzliche Variante wurde Kaliwasserglas (2,5 g l⁻¹) mit Folicin[®]-Mn (entspr. 120 mg Mn l⁻¹) kombiniert, um gegebenenfalls Interaktionen zwischen Silizium und Mangan daran untersuchen zu können. Zum Ansetzen der Lösungen für die Xyleminfusion wurde deionisiertes Wasser verwendet. Als Kontrolle dienten Pflanzen bei denen die Infusion nur mit deionisiertem Wasser („Dest. H₂O“) und nicht („Kontrolle“) durchgeführt wurde. Die Infusionssysteme, jeweils bestehend aus einer feinen Kanüle von 0,4 mm Durchmesser (Therumo[®]) und einem 70 cm langen Polyethylen Schlauch, wurde über Trichter befüllt und vor dem Einstechen der Nadel in das Xylem der Sprossachse entlüftet. Der Versuch wurde nach randomisiertem Block Design mit sieben Varianten zu je vier Wiederholungen (Pflanzen) durchgeführt. Zehn

Tage nach Beginn der Infusion wurde jeweils das erste Blatt über der Einstichstelle abgeerntet. Zur Durchführung der Mineralstoffanalyse wurde die Blattspreite entlang der fünf Hauptadern in sechs Blattlappen aufgeteilt um die Allokation von Si und Mn besser eingrenzen zu können, falls durch die von der Infusionsnadel getroffenen Leitbahnen nur begrenzte Blattareale mit Silizium angereichert wurden.

4.3.3 Forschungsergebnisse

Abb. 4.8 zeigt die Si-Konzentration im ersten Blatt über der Infusionsnadel zehn Tage nach Beginn der Einleitung am Beispiel des linken Seitenlappens. In keinem der untersuchten Blattlappen waren drastisch erhöhte Si-Gehalte zu finden und auch der statistische Vergleich der Variantenmittelwerte ergab keine signifikanten Unterschiede. Offensichtlich war die Infusionsmethode mit Kaliwasserglas in unterschiedlichen Konzentrationen nicht geeignet um dadurch nachweislich höhere Siliziummengen in das Blattgewebe zu befördern. Zunächst wurde eine mögliche Ursache für das Scheitern des Experimentes im alkalischen pH-Wert der Kaliwasserglaslösungen gesehen, da eine solche „Kontamination“ des sauren Xylemsaftes zum Verschluss der Gefäße durch Thyllenbildung geführt haben könnte (ESAU, 1969, Taf. 37). Silizium wird von Pflanzen vermutlich in Form der nicht dissoziierten Monokieselsäure (H_4SiO_4) aufgenommen und über den Transpirationsstrom verteilt (JONES UND HANDRECK, 1967; MENGEL AND KIRKBY, 2001). Daher sollte die Einleitung von Kieselsäure keine Abwehrreaktionen der Pflanze wie die Thyllenbildung auslösen und besser für Xylem-Infusionen geeignet sein. Aber auch Infusionsversuche mit im Bezug auf den Si-Gehalt entsprechenden Konzentrationen an aus Kaliwasserglas isolierter Kieselsäure führten nicht zu erhöhten Siliziumkonzentrationen im Blattgewebe. Die geplanten Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Siliziumgehalte auf die Ausprägung von Resistenzmechanismen an Rebblättern konnten daher bislang nicht wie geplant durchgeführt werden.

Siliziumkonzentration im linken Seitenlappen [mg Si/g TS]

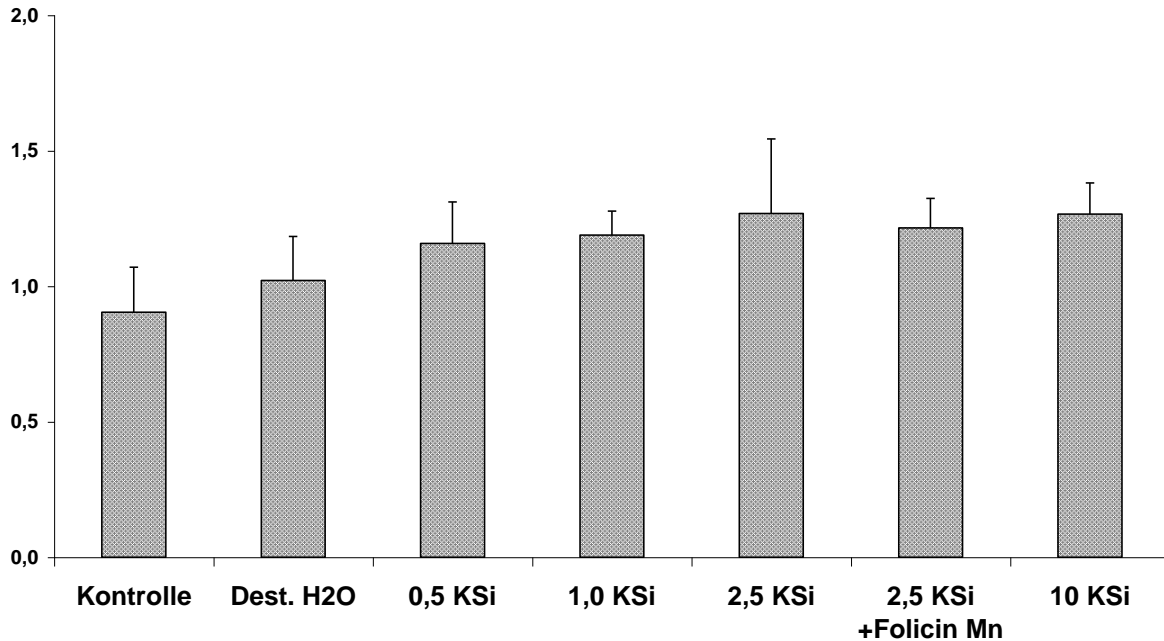


Abb. 4.8: Einfluss von Xyleminfusionen mit wässrigen Kaliwasserglaslösungen (“KSi”) in verschiedenen Konzentrationen (0,5 bis 10 g l⁻¹) und in Kombination mit Folicin®-Mn (2,0 g l⁻¹) auf die Siliziumkonzentration im linken Seitenlappen des ersten Blattes über der Infusionsstelle bei Rebstecklingen der Sorte “Bacchus” zehn Tage nach Anschluss der Infusionsnadeln.
(Es traten keine signifikanten Unterschiede auf (Tukey-Test $p \leq 0,05$), Mittelwerte $n=4$; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

4.4 Versuch zur Auswirkung eines verbesserten Silizium-, Mangan- und Zinkstatus von Weinreben auf die Krankheitsresistenz gegenüber Echtem Mehltau

4.4.1 Versuchsfrage

Per se wurde die physiologische Bedeutung von Si, Mn und Zn für die Ausbildung prä- und postinfektioneller Abwehrmechanismen in der Literatur eindeutig belegt, doch die Wechselbeziehungen zwischen Si, Mn und Zn bei der Pathogenabwehr, insbesondere bei der Entfaltung der postinfektionellen Resistenz, sind noch wenig untersucht worden und es liegen nur unzureichende Informationen darüber vor, welches Schutzpotential gegen pilzliche Pathogene in einer gleichzeitigen Optimierung der Si-, Mn- und Zn-Versorgung liegt, unter welchen Kulturbedingungen solche Effekte zu erwarten sind und ob sich daraus praxisrelevante Anwendungen zur

effektiven Kontrolle von Mehлтаupilzen an stark anfälligen Kulturen wie den Weinreben ableiten lassen.

Ziel der Untersuchungen war es den isolierten und wechselseitigen Einfluss des physiologischen Si-, Mn- und Zn-Status auf die Anfälligkeit von Weinreben gegenüber dem Echem Mehltau besser beurteilen zu können. Dabei sollte insbesondere eine mögliche Steigerung der Wirksamkeit von Si bei der Ausprägung pflanzeigener Resistenzmechanismen durch eine gleichzeitig verbesserte Mn- bzw. Zn-Versorgung erfasst werden. Durch Bodenapplikation sollte die Si-, Mn- und Zn-Aufnahme der Pflanzen über die Wurzel kontinuierlich gefördert werden um somit sowohl die Si-Inkrustierung und Lignineinlagerung in den Epidermiszellwänden zu unterstützen, als auch den mobilen monomeren Si-Pool und das Mn/Zn-Level im pflanzlichen Gewebe zu erhöhen.

4.4.2 Versuchsdurchführung

Da in den vorausgegangenen Versuchen eine Aufnahme von Si in das pflanzliche Gewebe nur über die Wurzel in Form von Kaliwasserglas nachweislich stattfand, wurde zur Versuchsdurchführung die Bodenapplikation gewählt. Zugleich konnte dadurch eine direkt fungistatische Kontaktwirkung der Präparate auf den Mehлтаubefall ausgeschlossen werden. Nach der Anzuchtphase wurden die bewurzelten Bacchusstecklinge etwa sechs Wochen vor Versuchsbeginn einzeln in Plastiktöpfe mit 3 kg Boden gepflanzt. Um den Si-, Mn- und Zn-Status der Versuchspflanzen selektiv zu beeinflussen wurden Kaliwasserglas (entspr. 1,4 g Si pro Pflanze), Folicin[®]-Mn (entspr. 53 mg Mn pro Pflanze) und Folicin[®]-Zn (entspr. 7 mg Zn pro Pflanze) einzeln und kombiniert miteinander im Gießverfahren über den Boden appliziert und dadurch unterschiedliche Versorgungslevels an diesen drei Nährstoffen eingestellt. Der Mn-Gehalt von Ackerböden (Pflug-Horizont) beträgt unter aeroben Bedingungen 0,01 - 4 mg Mn l⁻¹ in der Bodenlösung. Bei Zn liegen die entsprechenden Werte zwischen 0,001 - 0,4 mg Zn l⁻¹ (GEERING et al., 1969; SANDERS, 1983). Vor dem Hintergrund aktueller Düngeempfehlungen für den Weinbau, ist die im Topfversuch applizierten Mn-Menge als sehr hoch (achtfache Dosis) und die Zn-Menge als moderat (einfache Dosis) zu bewerten (ANONYM, 2003). Die nicht mit Kaliwasserglas gedüngten Varianten erhielten entsprechende Kaliummengen als

Kaliumsulfat. Die Wirksamkeit der unterschiedlichen Düngungsvarianten wurde anhand des Mehлтаubefalls bonitiert.

4.4.3 Forschungsergebnisse, Einfluss der Silizium-, Mangan- und Zink-Düngung auf den Mehлтаubefall

Allgemein war der Mehltauinfektionsdruck während der Versuchsphase im Gewächshaus sehr hoch und die klimatischen Bedingungen für einen starken Befall günstig. Dies äußerte sich mitunter darin, dass bereits wenige (4 bis 6) Tage nach Applikation der Düngepräparate an den meisten Versuchspflanzen eine Vielzahl von Mehлтаubefallsstellen sichtbar wurde. Die Inkubationszeit vom Auskeimen der Mehltausporen bis zum Sichtbarwerden des grauen Belags beträgt je nach Temperaturbedingungen fünf bis 14 Tage und bei 20°C etwa acht Tage. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Primärinfektion bereits vor oder zumindest kurz nach der Bodenbehandlung stattgefunden hatte. In diesem Fall, hatten die mit Kaliwasserglas behandelten Pflanzen keine ausreichende Zeitspanne zur Verfügung um vermehrt Silikate als präinfektionelle Barriere in die Epidermiszellwände einzulagern. Deshalb konnte die Bodenapplikation der Si-, Mn- und Zn-Präparate in diesem Versuch allenfalls über die geförderte Ausprägung postinfektioneller Resistenzmechanismen mögliche Auswirkungen auf den Oidiumbefallsgrad haben. Abb. 4.9 zeigt den Oidiumbefall an Rebstecklingen der Sorte Bacchus in Abhängigkeit von der Si- (Kaliwasserglas), Mn- (Folicin[®]-Mn flüssig) und Zn- (Folicin[®]-Zn flüssig) Düngung. Ein signifikant reduzierter Oidiumbefall trat nur an den „alten Blättern“ der Variante „KSi+Zn“ und an den „jungen Blättern“ der Variante „KSi+Mn/Zn“ auf. Dennoch lag der mittlere Oidiumbefallsgrad in beiden Fällen noch immer über 50 %, so dass hier nicht von einer ausreichenden Wirksamkeit der Behandlungen gesprochen werden kann. Die Analyse der Si-, Mn-, und Zn-Gehalte im Blattgewebe steht noch aus, weshalb an dieser Stelle noch keine abschließende Bewertung der vorliegenden Ergebnisse stattfinden kann.

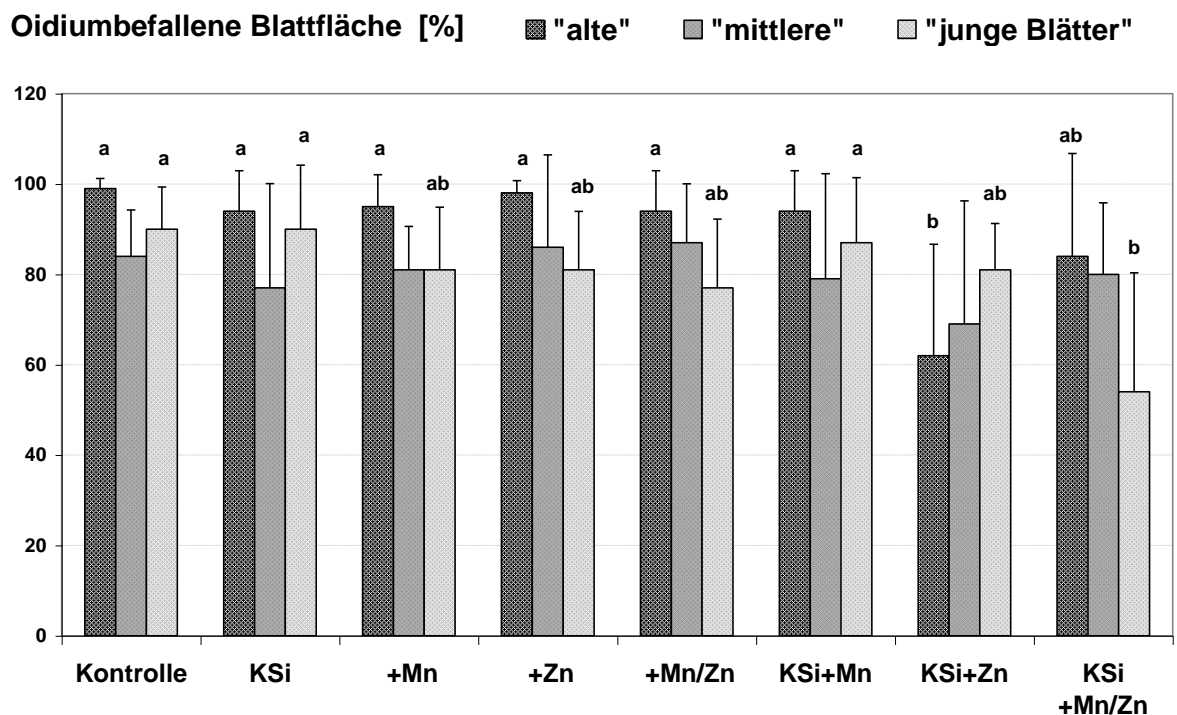


Abb. 4.9: Einfluss von Kaliwasserglals- ("KSi"), Folicin®-Mn („Mn“) und Folicin®-Zn („Zn“) Gießapplikation in verschiedenen Kombinationen auf den Oidiumbefall von Rebstecklingen der Sorte Bacchus in Abhängigkeit vom Blattalter.

(Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede innerhalb einer Blattfraktion, innerhalb der Fraktion „mittlere Blätter“ traten keine signifikanten Unterschiede auf, (Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

4.5 Fazit aus den Untersuchungen zur Strategie A: Förderung der Silizium-, Mangan- und Zinkaufnahme über Wurzel und Blatt zur Stärkung der prä- und postinfektionellen Resistenzmechanismen der Pflanze

4.5.1 Schlussfolgerungen aus den Siliziumaufnahmeversuchen an Weinreben

Die Siliziumgehalte von Rebblättern wurden am besten durch Bodenapplikation von Kaliwasserglas gesteigert. Bodenapplikation der dispersen Kieselsäureform (Aerosil®) führte nicht zu einer Zunahme der Siliziumkonzentration im Blattgewebe.

Nach Blattapplikationen von Kaliumwasserglas oder Aerosil® ergab die Analyse der Siliziumkonzentrationen im direkt damit behandelten Blattgewebe maximal um den

Faktor zwei höhere Werte, wobei es sich dabei wahrscheinlich nur um auf der Blattoberfläche anhaftende Siliziumausfällungen handelte. Eine aktive Verlagerung von Silizium nach Blattapplikation in den unbehandelten Pflanzenteilen war nicht festzustellen.

Kombination der Siliziumpräparate mit Greemax[®] war weder bei den durchgeführten Boden- noch Blattapplikationen geeignet um die Si-Aufnahme und Verlagerung über die Wurzel oder das Blattgewebe positiv zu beeinflussen. Es gab aber Hinweise auf eine Förderung der Mn-Aufnahme über die Wurzel durch Greemax[®].

4.5.2 Fazit zur physiologischen Wirkung von Silizium-, Mangan- und Zink auf die Resistenz gegenüber Echtem Mehltau

Durch Bodenapplikation von Kaliwasserglas, Folicin[®]-Mn und Folicin[®]-Zn konnte im durchgeführten Topfversuch kein ausreichender Schutz vor dem Echtem Mehltau bewirkt werden. Da die Infektion der Versuchspflanzen vermutlich schon vor der Applikation stattgefunden hatte, kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob eine frühzeitigere Behandlung erfolgreicher gewesen wäre.

5 Strategie B: Schaffung synthetischer Krusten auf der Blattoberfläche mit Hilfe von Silikat-Spritzungen als mechanische Infektions-Barrieren

5.1 Forschungsziel

Durch Spritzapplikation von Silikaten (Kaliwasserglas, Aerosil[®]) kann die Ausbildung synthetischer Siliziumkrusten auf der Blattoberfläche bewirkt werden, welche dann als mechanische Barriere das Eindringen keimender Pilzsporen (Mehltauconidien) in die Blattepidermiszellen erschweren oder verhindern könnten. Ziel der Versuche war es die Schutzwirkung gegen den Befall von Weinreben mit Echtem Mehltau zu testen und zu optimieren. Dazu wurden Spritzapplikationen mit Kaliwasserglaslösungen und wässrigen Aerosil[®]-Suspensionen durchgeführt. In diesem Zusammenhang erscheinen die Eigenschaften von Netzmittel wie Break-Thru[®] S240 und Penetrationshilfsmittel

wie Greemax® als hilfreich um die gleichmäßige Verteilung der Silikate auf der Blattoberfläche zu optimieren. Der Zusatz von Greemax® und Break-Thru® S240 sollte zeigen ob dadurch die Blattbenetzung und Haftfähigkeit der Silikatkruste sowie deren Pflanzenverträglichkeit positiv beeinflusst werden kann. Zusätzlich wurden kombinierte Anwendungen mit den in Kap. 3.2.1 beschriebenen Mn- und Zn-Düngerformen durchgeführt, mit der Absicht durch gleichzeitige Stärkung der internen (pflanzeigenen) Resistenzmechanismen die Effektivität der externen Silikatkruste bei der Abwehr von Mehltaupilzen zu optimieren und den Wirkungsgrad der Anwendung zu steigern. Um die Wirkung der zu untersuchenden Präparate mit der eines praxisüblichen Netzschwefelpräparates vergleichen zu können wurden Behandlungen mit „Sufran Jet®“ (Wirkstoff: 80,0 % Gew. Schwefel; Spiess-Urania Pflanzenschutz GmbH) durchgeführt.

5.2 Versuchsdurchführung

Zur Spritzbehandlung der sechs bis zehn Wochen alter Topfreben wurden die zu prüfenden Agenzien einzeln oder kombiniert folgendermaßen mit deionisiertem Wasser angesetzt: Kaliwasserglas („KSi“) und Aerosil® 50 g l⁻¹ (entspr. 4,6 g Si l⁻¹); Greemax® 0,2 g l⁻¹; BreakThru® S240 0,4 g l⁻¹; MnSO₄·H₂O 2g l⁻¹ (entspr. 0,64 g Mn l⁻¹); ZnSO₄·7H₂O 1,78 g l⁻¹ (entspr. 0,41 g Zn l⁻¹), Netzschwefel SufranJet® 6 g l⁻¹ und 0,6 g l⁻¹; Folicin®-Mn flüssig 8,0 ml l⁻¹ (entspr. 0,64 g Mn l⁻¹) und Folicin-Zn flüssig 4,5 ml l⁻¹ (entspr. 0,41 g Zn l⁻¹). Mn- und Zn-Sulfat waren nicht mit der Kaliwasserglaslösung mischbar (Ausflockungen). Daher wurde in Varianten mit Kaliwasserglas- und Mn-/Zn-Sulfat-Behandlung die Mn-/Zn-Blattdüngung zuerst durchgeführt und mit der Kaliwasserglasapplikation bis zum vollständigen Abtrocknen der Blätter gewartet. Die Mn-/Zn-Chelatformen (Folicin®) waren gut mit Kaliwasserglas mischbar und konnten daher in einem Vorgang ausgebracht werden. Das Netzschwefel-präparat Sufran Jet® wurde entsprechend der Empfehlung des Herstellers mit 6 g l⁻¹ und mit reduzierter Aufwandmenge von 0,6 g l⁻¹ angewendet. Die Applikation erfolgte auf der Blattober- und Unterseite tropfnass mit einem Drucksprüher für Pflanzenschutzmittel (Mesto®Flexi; Messing-Präzisionsdüse; 1,5 l). Zur Kontrolle wurden Pflanzen nicht („Kontrolle“) oder nur mit deionisiertem Wasser

(„Dest. H₂O“) behandelt. Die Inokulation mit Mehltaukonidien (*U. necator*) erfolgte 24 Stunden nach der Spritzapplikation und die Befallsbonitur je nach Entwicklungsverlauf nach zwei bis drei Wochen.

5.3 Forschungsergebnisse

5.3.1 Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Aerosil®, Greemax® und BreakThru® (1. Spritzversuch)

5.3.1.1 Einfluss von Greemax® und BreakThru® auf das Spritzbild der Silikate

Abb. 5.1 zeigt den Einfluss von Greemax® und Greemax® plus BreakThru® auf das Spritzbild der Silikatapplikation („KSi“, Aerosil®) am Beispiel ausgewählter Blätter. Die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste auf der Blattoberfläche war nur in den Varianten mit BreakThru® möglich. Ohne Zusatz des Netzmittels zogen sich die Silikatlösungen kurz nach der Applikation zu einzelnen Tropfen zusammen, die nach dem Eintrocknen nur isolierte „Silikatschuppen“ bilden konnten.

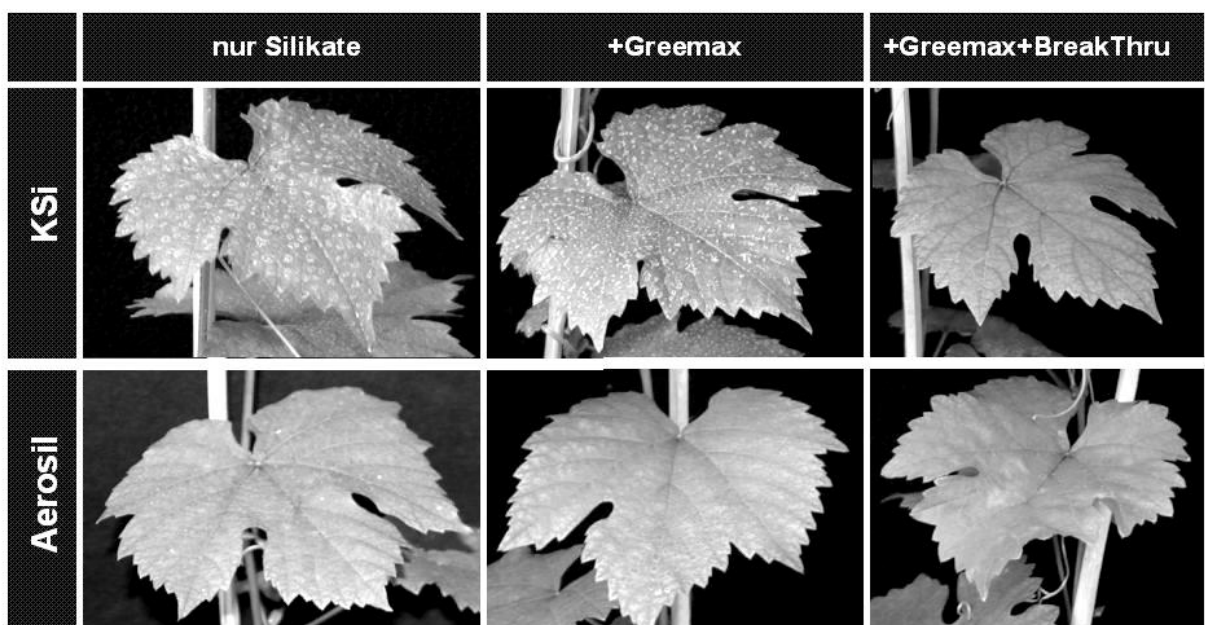


Abb. 5.1: Einfluss von Greemax® und BreakThru® auf das Spritzbild von Kaliwasserglas- („KSi“) und Aerosil®-Applikationen auf Rebblättern der Sorte Bacchus

Aerosil® hatten den Vorteil, dass die Silikatschuppen fest auf der Blattoberfläche klebten, während Kaliwasserglas leicht abblätterte. Ein deutlicher Nachteil von Aerosil® gegenüber Kaliwasserglas waren jedoch die schweren Verbrennungen, die dadurch an den jüngsten Blättern verursacht wurden (Abb. 5.2). Die durch Kaliwasserglas verursachten Verbrennungen an den jüngsten Blättern waren nicht sehr ausgeprägt. Durch Zusatz von Greemax® und BreakThru® wurde die Aggressivität der Silikatbehandlung nur geringfügig erhöht. An den bereits ausgewachsenen und älteren Blättern traten keine Schäden auf. Um die Frage zu klären ob der Zusatz von BreakThru® alleine (ohne Greemax®) ausreichend ist um eine gleichmäßige Silikatkruste zu erzeugen, war ein weiterer Versuchsdurchgang erforderlich, da diese Variante noch nicht berücksichtigt worden war.

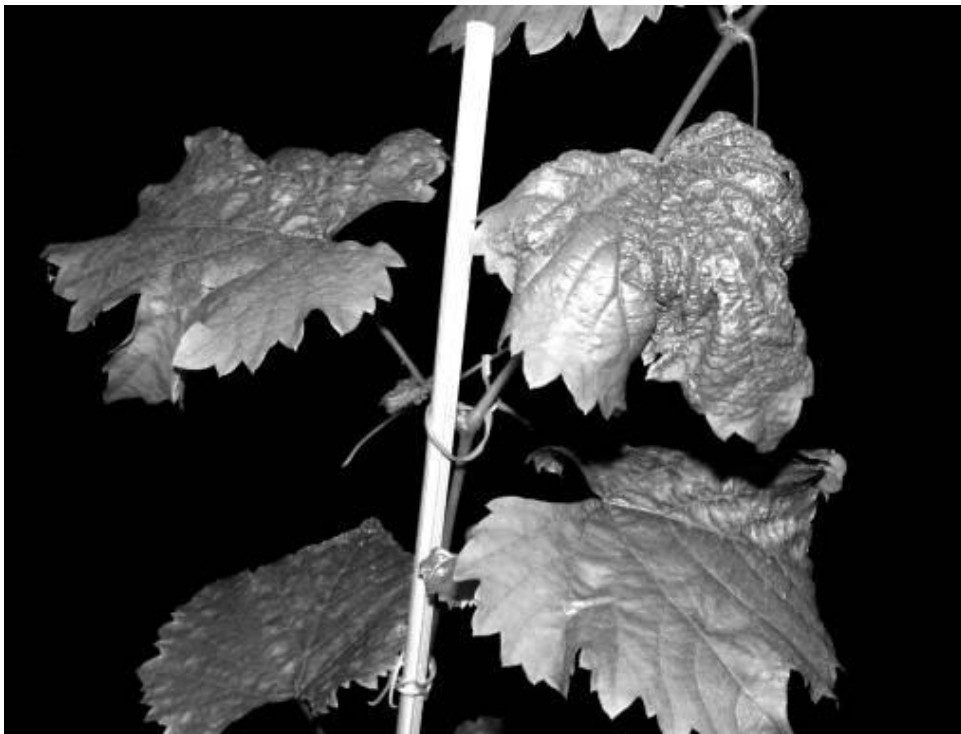


Abb. 5.2: Vernarbtes Blattgewebe an den zum Applikationszeitpunkt jüngsten Blättern durch phytotoxische Wirkung von Aerosil® einige Wochen nach der Anwendung

5.3.1.2 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehltaubefall

Der Befall der Reben mit Echtem Mehltau konnte durch Spritzapplikation von Kaliwasserglas signifikant reduziert werden (Abb. 5.3), wobei die kombinierte Anwendung mit Greemax® und BreakThru® den besten Bekämpfungserfolg erzielte.

In den Varianten mit Aerosil® war der Mehлтаubefall nicht deutlich reduziert, jedoch auch hier war die Variante mit Greemax® und BreakThru® tendenziell am wenigsten stark befallen.

Oidium befallene Blattfläche [%]

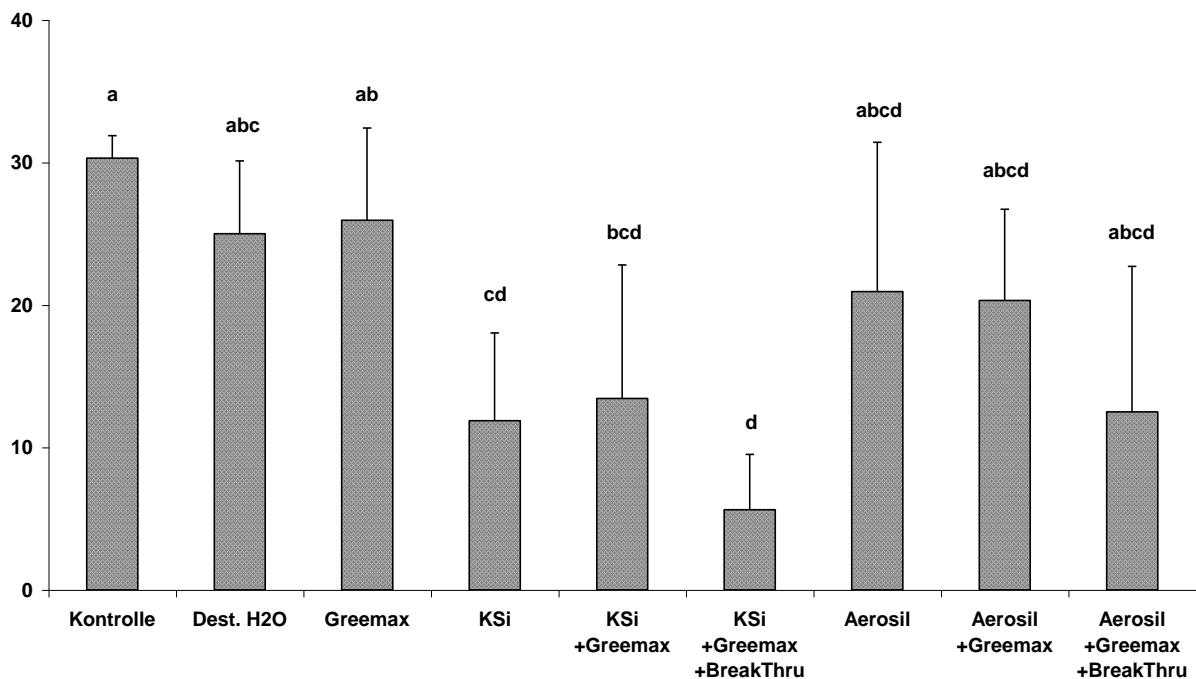


Abb. 5.3: Einfluss von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglans (“KSi”), Aerosil®, Greemax® und BreakThru® in verschiedenen Kombinationen auf den Oidiumbefall an behandelten Blättern von Rebstecklingen der Sorte “Bacchus”.

(Mittelwerte n=4, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

5.3.2 Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax®, BreakThru® und Mn-/Zn-Sulfat (2. Spritzversuch)

Nach Abschluss der Versuchsauswertung wurden die Topfreben des 1. Versuchs auf 3 bis 4 Augen (Knospen) zurückgeschnitten und nur mit Stickstoff gedüngt (Calciumnitrat, 170 mg N pro Pflanze). Der 2. Spritzversuch wurde sieben Wochen später an den wieder ausgetriebenen Stecklingen des 1. Versuchs durchgeführt. Danach wurden diese Versuchspflanzen nicht wieder verwendet.

5.3.2.1 Einfluss von Greemax®, BreakThru® und Blattdüngung mit Mn-/Zn-Sulfat auf das Spritzbild von Kaliwasserglas

Im 2. Versuch mit den Varianten „Kontrolle“, „Dest. H₂O“, „KSi+Greemax+BreakThru“ und „KSi+Mn-/Zn-Sulfat+Greemax+BreakThru“ funktionierte die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkrusten zunächst nicht. Bei Wiederholung der Spritzapplikation nach vier Tagen war die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste nur in der Variante mit vorheriger Mn-/Zn-Sulfat Blattdüngung gegeben. Der Zusatz von Greemax® und BreakThru® zur Kaliwasserglaslösung alleine reichte jedoch auch bei der wiederholten Spritzapplikation nicht mehr aus, um ein zufriedenstellendes Spritzbild der Kaliwasserglaskruste wie im 1. Versuch zu bewirken (Abb. 5.4). Dabei ist neben einer möglichen Wirkung von Mn und Zn auf die Beschaffenheit der Blattoberfläche zu beachten, dass auch die Mn-/Zn-Sulfat-Spritzung mit Zusatz von BreakThru® durchgeführt wurde und daher die Blattcuticula der Pflanzen innerhalb weniger Stunden (2:30 h) der doppelten BreakThru®-Menge ausgesetzt waren.

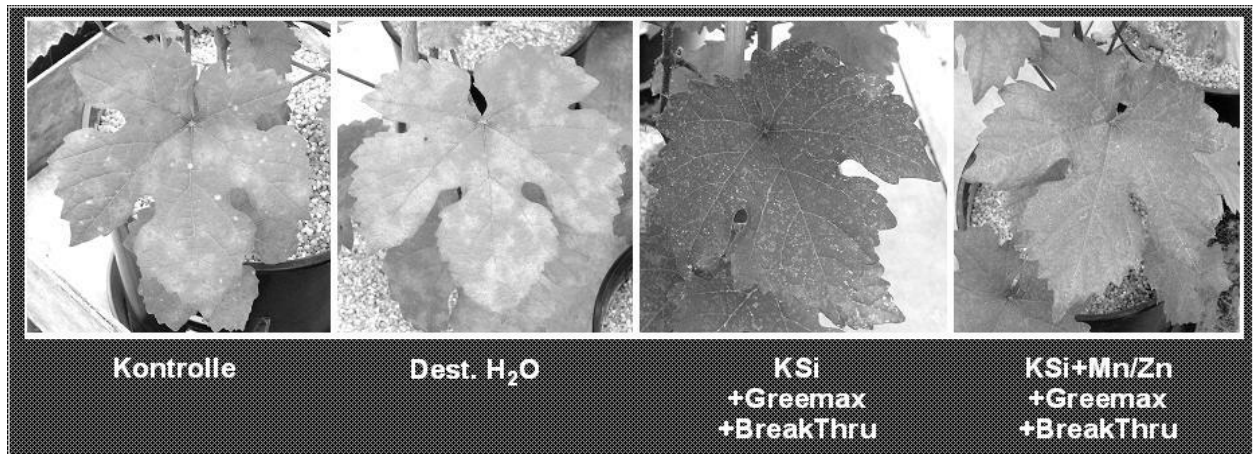


Abb. 5.4: Einfluss von Greemax®, BreakThru® und Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“) in verschiedenen Kombinationen auf das Spritzbild von Kaliwasserglas und den Mehltaubefall auf Rebblättern der Sorte Bacchus

5.3.2.2 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehltaubefall

Trotz des hohen Mehltaubefallsdruckes, in den unbehandelten Varianten waren zum Zeitpunkt der Befallsbonitur bis zu 50 % der Blattfläche von Pilzmycel überzogen, konnte durch Spritzapplikation von Kaliwasserglas mit BreakThru® und Greemax® der

Mehltaubefall trotz mangelhafter Ausbildung der Silikatkruste gut kontrolliert werde (Abb. 5.5). Der errechnete Wirkungsgrad im Bezug auf die unbehandelte „Kontrolle“ lag durchschnittlich bei 86 %. Vorbehandlung der Blätter mit Mn-/Zn-Sulfat bewirkte nicht nur eine optimierte Ausbildung der Silikatkruste, sondern zusätzlich eine Verbesserung des Wirkungsgrades auf 98%.

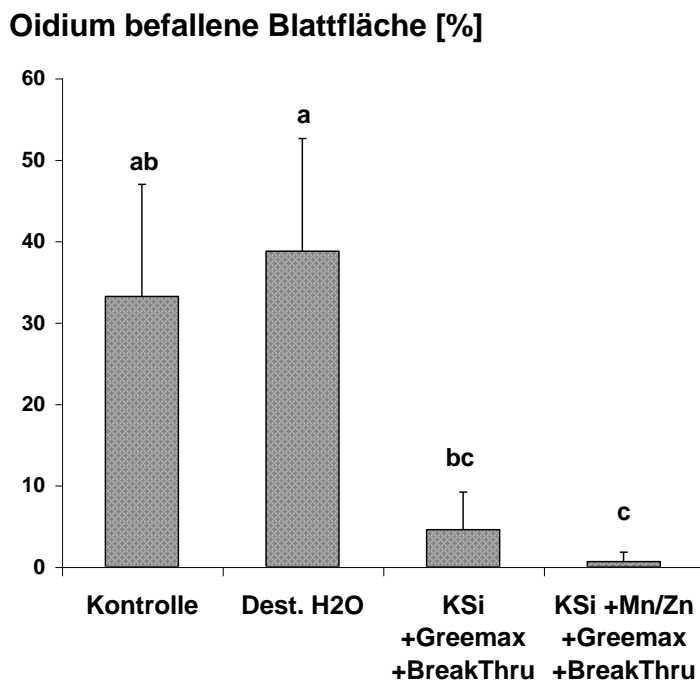


Abb. 5.5: Einfluss von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglals („KSi“), Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“) in verschiedenen Kombinationen auf den Oidiumbefall von Rebstecklingen der Sorte Bacchus.

(Mittelwerte n=8, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

5.3.3 Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax[®], BreakThru[®] und Mn-/Zn-Sulfat (3. Spritzversuch)

Bei Durchführung des 3. Spritzversuch hatte, der Mehltaubefall insbesondere an den unteren Blättern bereits vor der Applikation begonnen. Dies hatte den Vorteil, dass die Mittel auch auf ihre kurative Wirkung getestet werden konnten. An den jüngeren Blättern, die zu diesem Zeitpunkt weitgehend befallsfrei waren, konnte jedoch nach dem Applikationstermin trotz Inokulation auch an den unbehandelten Rebstecklingen zunächst kein Mehltaubefall etabliert werden, möglicherweise aufgrund geringer

Infektiösität des im Freiland gesammelten Pilzmaterials. Nach vier Wochen wurden die Spritzbehandlungen und Mehлтаubeimpfung nochmals durchgeführt. Erst nach weiteren vier Wochen trat ein schwacher Mehлтаubefall ein. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuchsauswertung nach acht Wochen Versuchsdauer dargestellt.

5.3.3.1 Einfluss von Greemax®, BreakThru® und Blattdüngung mit Mn-/Zn-Sulfat auf das Spritzbild von Kaliwasserglas

Auch im 3. Spritzversuch war die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste auf der Blattoberfläche nur bei vorausgehender Blattdüngung mit Mn-/Zn-Sulfat möglich (Abb. 5.6). Unter dieser Voraussetzung war die kombinierte Anwendung von Kaliwasserglas mit BreakThru® ausreichend. Greemax® war dazu nicht notwendig und hatte keinen zusätzlichen Einfluss auf das Spritzbild.

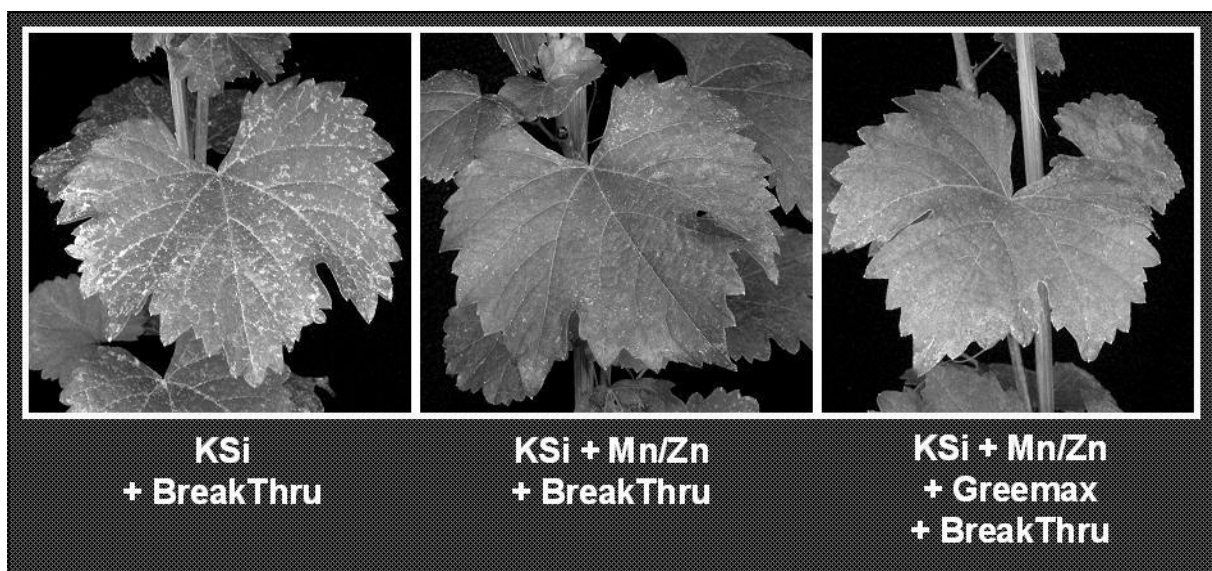


Abb.5.6: Einfluss von Greemax®, BreakThru® und Mn/Zn-Sulfat in verschiedenen Kombinationen auf das Spritzbild von Kaliwasserglas- (“KSi”)-Applikationen auf Rebblättern der Sorte Bacchus

5.3.3.2 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehлтаubefall

Wie Abb. 5.7 zeigt hatten Kaliwasserglas und das Netzschwefelpräparat eine kurative Wirkung gegen den zum Zeitpunkt der Spritzapplikation bereits auf den „alten Blätter“ etablierte Mehлтаubefall, der dadurch zum Absterben gebracht werden konnte. Der geringste Mehлтаubefall war in der Variante „KSi+Mn/Zn+Greemax+BreakThru“ zu finden, während die entsprechende Variante ohne Greemax® signifikant stärker

befallen war. Fraglich ist in diesem Zusammenhang ob möglicherweise die Aufnahme und damit auch die resistenzstärkende Wirkung von Mn und Zn durch Greemax[®] beschleunigt wurde. Die Anwendung von Mn-/Zn-Sulfat[®] mit BreakThru („Mn/Zn+BreakThru“) bewirkte zwar auch ohne Kaliwasserglas einen signifikant geringeren Mehлтаubefall an den alten Blättern, war aber nicht ausreichend um den bereits vorhandenen Befall abzutöten. An den „mittleren Blättern“ dieser Variante war der Mehлтаubefall allerdings höher als in allen anderen Varianten (Abb. 5.8). In allen mit Kaliwasserglas behandelten Varianten konnte das Aufkommen eines schwachen Mehлтаubefalls an den „mittleren Blättern“ nach acht Wochen Versuchsdauer vollständig verhindert werden.

Oidium befallene Blattfläche der "alten Blätter" [%]

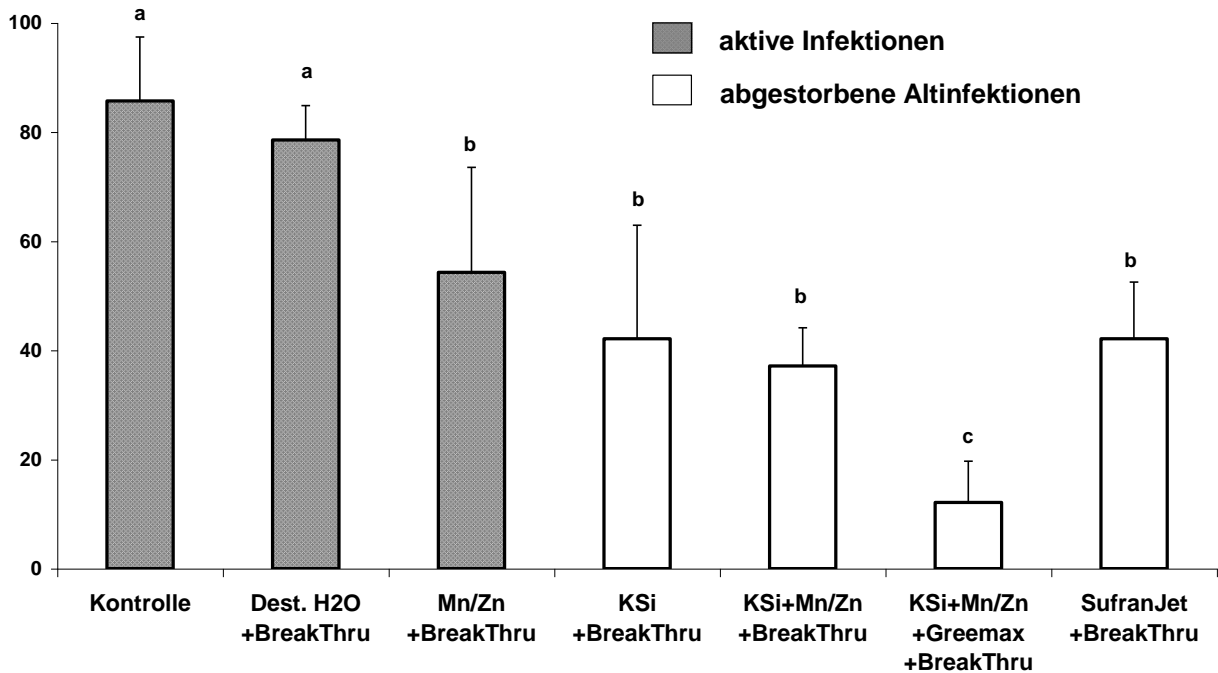


Abb. 5.7: Einfluss von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglans („KSi“), Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“) in verschiedenen Kombinationen auf den Oidiumbefall an den „alten Blättern“ von Rebstecklingen der Sorte Bacchus. (Mittelwerte n=7, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

Oidium befallene Blattfläche der "mittleren Blätter" [%]

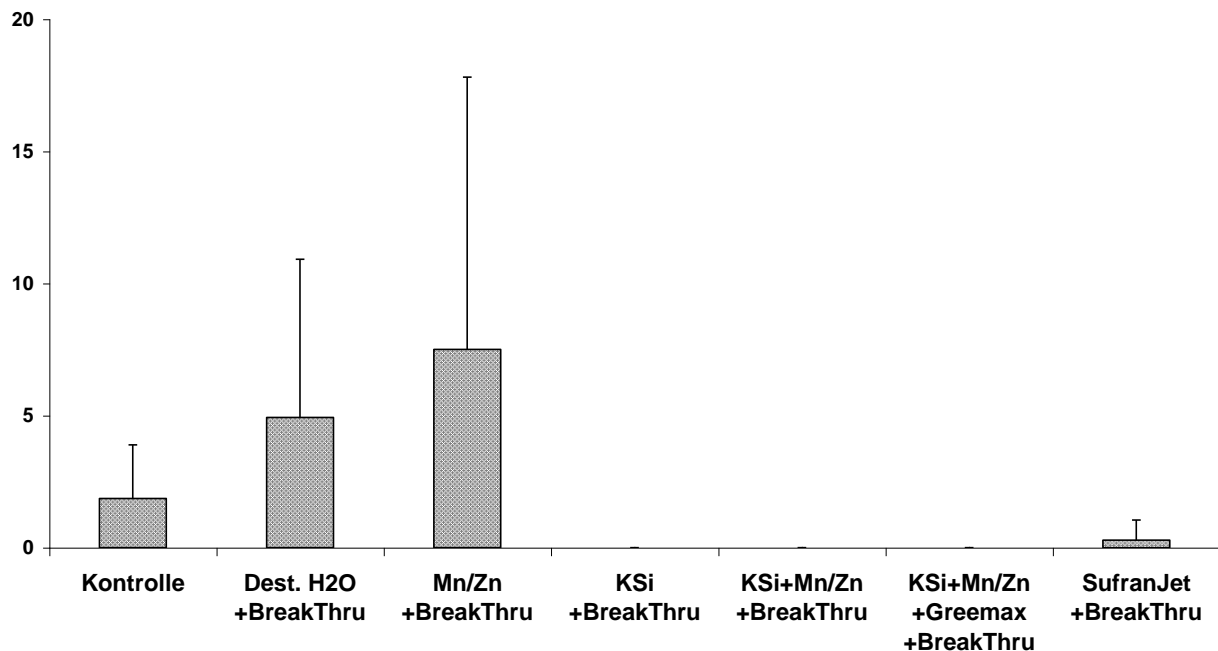


Abb. 5.8: Einfluss von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglals ("KSi"), Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“) in verschiedenen Kombinationen auf den Oidiumbefall an den „mittleren Blättern“ von Rebstecklingen der Sorte Bacchus. (Mittelwerte n=7, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

5.3.4 Spritzapplikation von Kaliwasserglas, Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn in Sulfat- und Chelat-Form (4. Spritzversuch)

Im vierten Spritzversuch wurde der Einfluss von Mn/Zn-Chelat (Folicin[®]) als Additiv bei der Kaliwasserglasapplikation auf das Spritzbild und den Mehltaubefall im Vergleich zur Anwendung von Mn und Zn in Sulfatform untersucht. Die Inokulation mit Mehltaukonidien (*U. necator*) erfolgte 24 Stunden nach der Spritzapplikation und die Befallsbonitur nach drei Wochen.

5.3.4.1 Einfluss von Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn-Form auf das Spritzbild von Kaliwasserglas

Die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste durch Spritzapplikation von Kaliwasserglas mit BreakThru[®] war sowohl nach Vorbehandlung der Blätter mit Mn/Zn-Sulfat als auch durch Beimischung von Mn/Zn-Chelat (Folicin[®]) zur

Kaliwasserglas-BreakThru[®]-Lösung gegeben. Der Zusatz von Greemax[®] hatten keinen erkennbaren Einfluss auf das Spritzbild (Abb. 5.9).

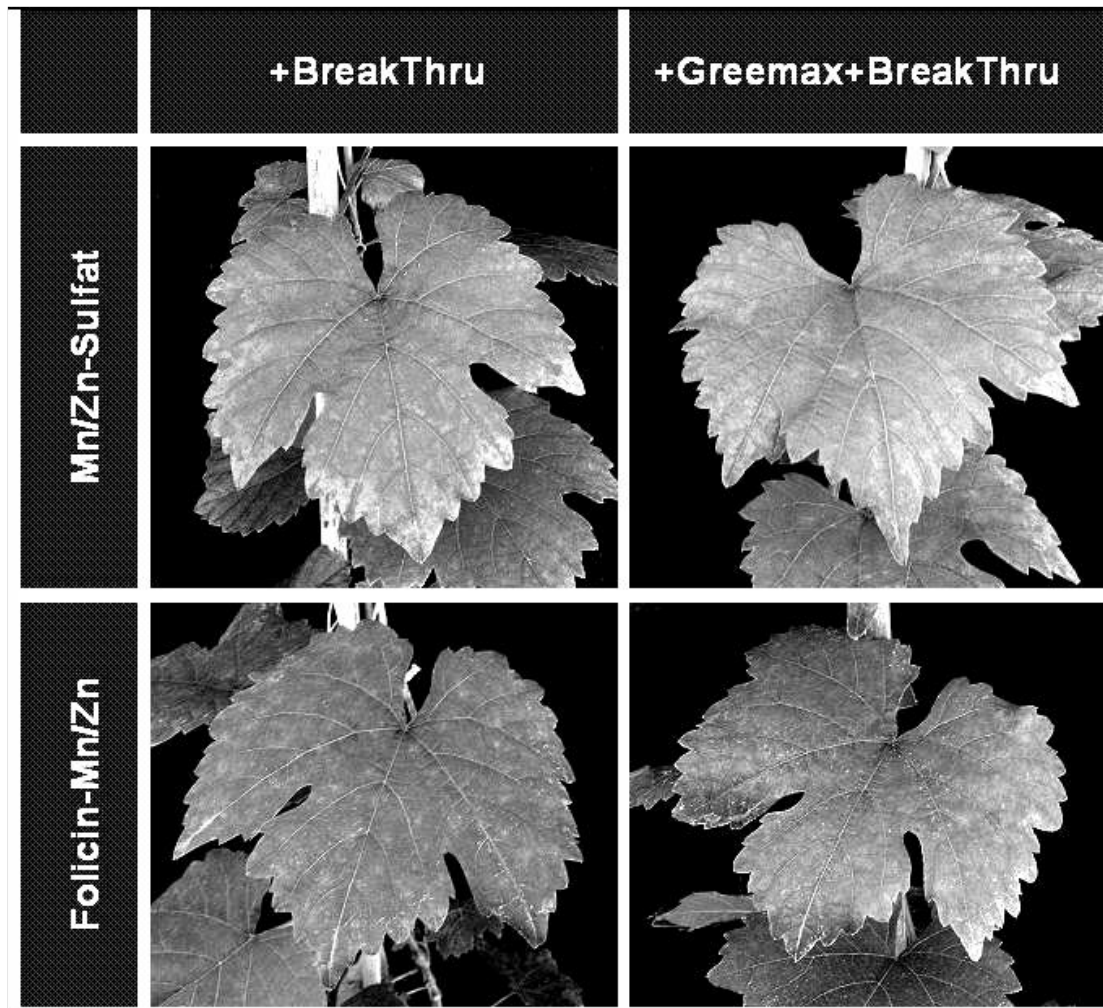


Abb. 5.9: Einfluss von Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn in Sulfat und Chelat-Form auf das Spritzbild der Kaliwasserglaskruste auf Rebblättern der Sorte Bacchus.

5.3.4.2 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehltaubefall

Trotz starken Infektionsdruckes, bis zu 100% der Blattfläche von unbehandelten Versuchspflanzen waren bei der Versuchsauswertung von grauem Pilzmycel überzogen, erwiesen sich alle „Kaliwasserglas+BreakThru“-Varianten als sehr Wirkungsvoll bei der Abwehr von Mehltau und konnten den Befall fast vollständig verhindern (Abb. 5.10). Ein Unterschied zwischen Vorbehandlung der Blätter mit Mn/Zn-Sulfat oder Beimischung von Mn/Zn-Chelat (Folicin[®]) zur

Kaliwasserglaslösung konnte anhand des Mehltaubefalls nicht festgestellt werden. Die additive Anwendung von Greemax® hatte keinen Einfluss auf den Mehltaubefallsgrad.

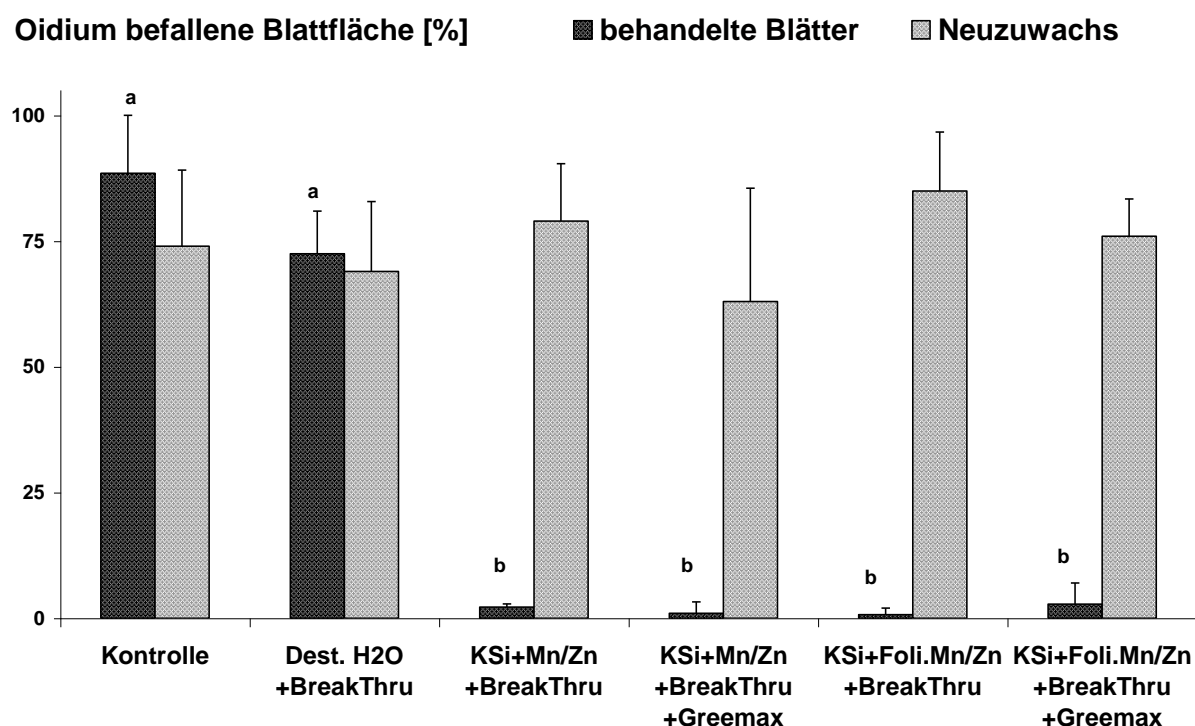


Abb. 5.10: Einfluss von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglas („KSi“), Greemax®, BreakThru® und Mn/Zn in Sulfat- („Mn/Zn“) und Chelat-Form („Foli.Mn/Zn“) auf den Oidiumbefall von Rebstecklingen der Sorte Bacchus. (Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

5.3.4.3 Einfluss auf die Ausprägung von postinfektionellen Resistenzmechanismen

An den mit Kaliwasserglas, Mn und Zn behandelten Pflanzen war verstärkt das Auftreten punktförmiger Nekrosen auf den Blattspreiten zu beobachten. Unter dem Binokular konnten diese Punktnekrosen als abgestorbene Mehltauinfektionsstellen infolge erfolgreicher postinfektioneller Resistenzreaktionen (Hypersensitivitätsreaktion) erkannt werden (Abb. 5.11, b und c). Bereits MEYER (1939) stellte fest, dass resistente Pflanzen auf das Eindringen von Pilzen mit einer lokalen Nekrotisierung des befallenen Gewebes reagieren und damit biotrophen Pathogenen die Lebensgrundlage entziehen. Dieses Phänomen war unabhängig von der jeweiligen Mn/Zn-Form (Sulfat oder Chelat) und der Verwendung von Greemax®

zu beobachten. Neben dieser postinfektionellen Abwehrreaktion waren nur bei den mit Mn/Zn-Sulfat behandelten Pflanzen punktförmige Nekrosen festzustellen, die auf eine durch die Spritzapplikation direkt ausgelöste Überempfindlichkeitsreaktion zurückzuführen waren (Abb. 5.11, a). Dies war vor allem dort, der Fall wo die Spritzlösung am Blattrand zusammengeflossen war und beim Eintrocknen lokal besonders hohe Konzentrationen erreicht hatte. Möglicherweise können auch solche Nekrosen systemische Resistenz induzieren (RYALS et al., 1996; STICHER et al., 1997). An den Pflanzen der Varianten „Kontrolle“ und „DestH₂O+BreakThru“ waren keine Punktnekrosen aufzufinden.

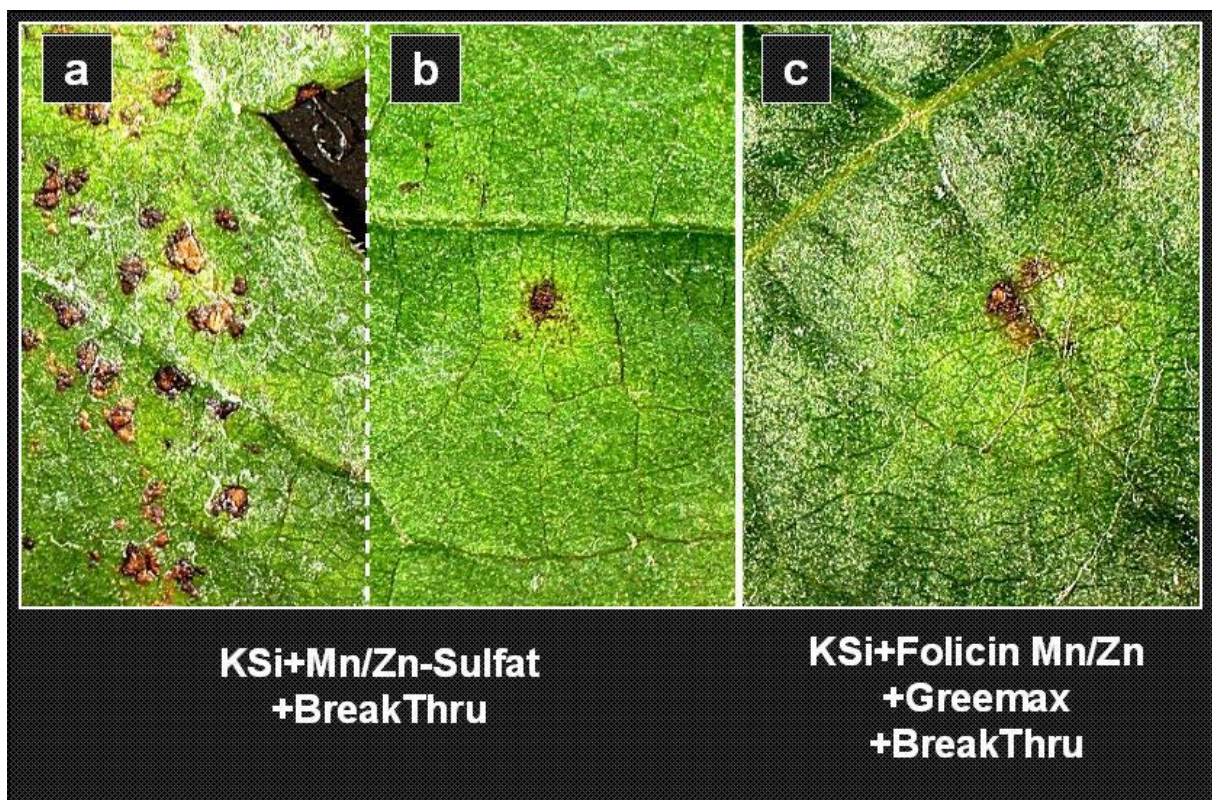


Abb. 5.11: Punktnekrosen auf mit von Spritzapplikationen mit Kaliwasserglans (“KSi”), Greemax[®], BreakThru[®] und Mn/Zn in Sulfat und Chelat-Form behandelten Reblättern der Sorte Bacchus. a: Überempfindlichkeit gegenüber hohen „KSi+Mn/Zn-Sulfat“-Konzentrationen am Blattrand. b und c: Durch Nekrotisierung isolierte Mehltauinfektionsstellen

5.4 Fazit aus den Versuchen zur Schaffung synthetischer Krusten auf der Blattoberfläche mit Hilfe von Silikat-Spritzungen als mechanische Infektions-Barrieren

Durch Spritzapplikation von Kaliwasserglas kann die Ausbildung synthetischer Siliziumkrusten auf Blattoberfläche bewirkt werden, welche den Mehltaubefall an Weinreben unter Gewächshausbedingungen reduzieren, verhindern oder kurativ bekämpfen könnten.

Aerosil[®]- Spritzungen verursachten starke Verbrennungen (phytotoxische Reaktionen) an den jüngsten Blättern und hatten keine ausreichende Schutzwirkung gegen Mehltau.

Der Einsatz des Netzmittels Break-Thru[®] S240 war erforderlich um die gleichmäßige Verteilung und Haftfestigkeit der Präparate und die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste auf der Blattoberfläche zu ermöglichen. Ohne das Netzmittel blieben nach dem Abtrocknen nur tropfenartig isolierte Silikatflecken zurück die sich im Fall von Kaliwasserglas als schuppenförmige Flocken leicht von der Blattoberfläche ablösen. Die Mehltau-Schutzwirkung der Kaliwasserglasapplikation wurde durch BreakThru[®] signifikant verbessert.

Greemax[®] war nicht erforderlich um die Ausbildung einer geschlossenen Silikatkruste auf den Blättern zu ermöglichen. Greemax[®] zeigte bei einer Aufwandmenge von 0,2 g l⁻¹ noch keine Netz Wirkung. Allerdings konnte die Mehltau-Schutzwirkung einer kombinierten „Kaliwasserglas+Mn/Zn-Sulfat+BreakThru[®]“ durch Greemax[®] signifikant verbessert werden. Die phytotoxische Wirkung von Kaliwasserglas wurde durch Greemax[®] nur geringfügig verstärkt.

Vorausgehende Blattdüngung mit Mn- und Zn-Sulfaten und additiver Zusatz von Folicin[®]-Mn/Zn hatte einen positiven Einfluss auf die Ausbildung der Kaliwasserglas-Si-Kruste auf der Blattoberfläche. Nach Blattapplikation beider Mn/Zn-Formen war die erfolgreiche Ausbildung postinfektioneller Mehltau-Abwehrmechanismen gehäuft zu beobachten.

Folicin[®]-Mn/Zn ist mit Kaliwasserglas gut mischbar. Beide Präparate können zusammen mit BreakThru[®] in einem Arbeitsschritt ausgebracht werden und sind in dieser Kombination sehr Wirksam zur Bekämpfung von Echtem Mehltau.

B II WIRKUNGSPOTENTIAL VON PFLANZENEXTRAKTEN ZUR BEKÄMPFUNG ECHTER MEHLTAUPILZE

6 Bekämpfung des Echten Mehltaus an Weinreben mit Knoblauchextrakt

6.1 Forschungsziel

Ziel der Versuche war es die Schutzwirkung von Knoblauchextrakt gegen den Befall von Weinreben durch den Echten Mehltau zu testen. Da bislang noch keine näheren Informationen über das zu erwartende Wirkungspotential vorlagen und aus der Wirkstoffforschung bekannt ist, dass bei Kombination unterschiedlicher Wirkstoffe synergistische Effekte auftreten können, wurden Knoblauchextrakt auch in Verbindung mit Mn/Zn-Sulfat und reduzierten Netzschwefelaufwandmengen (*0,1) getestet.

6.2 Versuchsdurchführung

Zur Spritzbehandlung der Topfreben wurde der frische Knoblauchextrakt („Allium“) einzeln und kombiniert mit $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2 g l^{-1} (entspr. $0,64 \text{ g Mn l}^{-1}$), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $1,78 \text{ g l}^{-1}$ (entspr. $0,41 \text{ g Zn l}^{-1}$) und reduzierten Netzschwefelaufwandmengen SufranJet® $0,6 \text{ g l}^{-1}$ („0,1*SufranJet“) angewandt. Die Applikation erfolgte auf der Blattober- und Unterseite tropfnass mit einem Drucksprüher für Pflanzenschutzmittel (Mesto®Flexi; Messing-Präzisionsdüse; 1,5 l). Zur Kontrolle wurden Pflanzen nicht („Kontrolle“) oder nur mit deionisiertem Wasser („Dest. H_2O “), Mn/Zn-Sulfat und reduzierter sowie praxisüblicher Netzschwefelaufwandmenge behandelt. BreakThru® wurde generell bei allen Spritzvarianten eingesetzt. Die Versuchsdurchführung erfolgte parallel mit dem 3. und 4. Spritzversuch. Im Bezug auf die Versuchsauswertung und den Mehltaubefall an den „alten“ und „mittleren Blättern“ gilt das in Kap. 5.3.3 und 5.3.4. bereits erläuterte. Von allelopathischen Effekten des Knoblauchextraktes auf den Mehltaubefall an anderen, nicht damit behandelten Versuchspflanzen, wurde nicht ausgegangen. Allerdings könnte auch dies eine

mögliche Ursache für den insgesamt sehr geringen Mehltaubefall an den „mittleren Blättern“ des 3. Versuchs (Kap. 5.3.3) gewesen sein. Allelopathie ist die Eigenschaft von Pflanzen, organische Verbindungen auszuscheiden, welche das Wachstum oder Keimen anderer Pflanzen (Pilze?) unterbinden oder hemmen. Um einen solchen Einfluss auszuschließen wurden die mit Knoblauch behandelten Pflanzen bei den folgenden Versuchen (Kap. 5.3.4 und 6) nach Ausbringung des Mehltauinokulums für 48 h außerhalb „allelopathischer Reichweite“ von den übrigen Versuchsgliedern aufgestellt.

6.3 Forschungsergebnisse

6.3.1 Spritzapplikation von Knoblauchextrakt, BreakThru®, Mn-/Zn-Sulfat und Netzschwefel (5. Spritzversuch)

6.3.1.1 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehltaubefall

Durch Spritzapplikation von Knoblauchextrakt konnte der bereits vorhandene Mehltaubefall an den „alten Blättern“ abgetötet und eine weitere Ausbreitung des Pilzmycels verhindert werden. Kombination mit Mn/Zn-Sulfat und reduzierter Netzschwefeldosis war dazu nicht notwendig (Abb. 6.1).

Oidium befallene Blattfläche der "alten Blätter" [%]

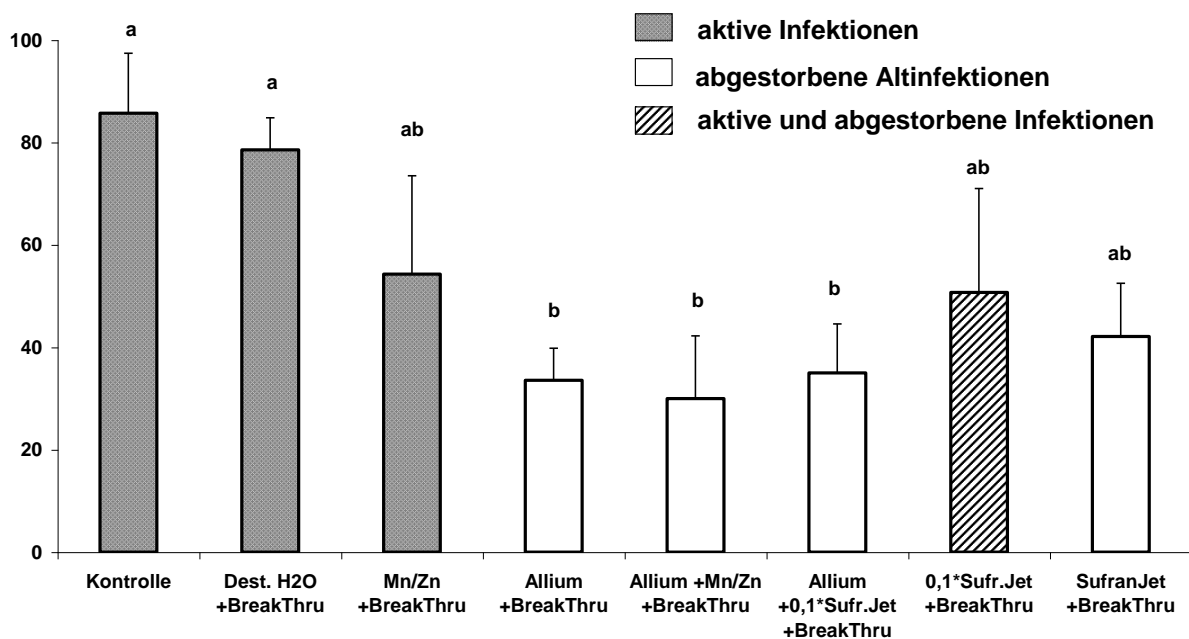


Abb. 6.1: Einfluss von Spritzapplikationen mit Knoblauchextrakt („Allium“), BreakThru®, Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“), und Netzschwefel („SufranJet“) auf den Oidiumbefall an den „alten Blättern“ von Rebstecklingen der Sorte Bacchus.

(Mittelwerte n=7, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis Rang-Varianzanalyse; Tukey-Test $p \leq 0,05$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

Bonitur der insgesamt nur schwach von Mehltau befallenen „mittleren Blätter“ ließ erkennen, dass die protektive Wirksamkeit des Knoblauchextrakts durch Zusatz von Mn/Zn-Sulfat bzw. Netzschwefel in geringer Dosis („+0,1*SufranJet“) verschlechtert wurde. Der Befall konnte dann nicht mehr wie durch Einzelanwendung von „Allium+BreakThru“ gänzlich verhindert werden (Abb. 6.2).

Oidium befallene Blattfläche der "mittleren Blätter" [%]

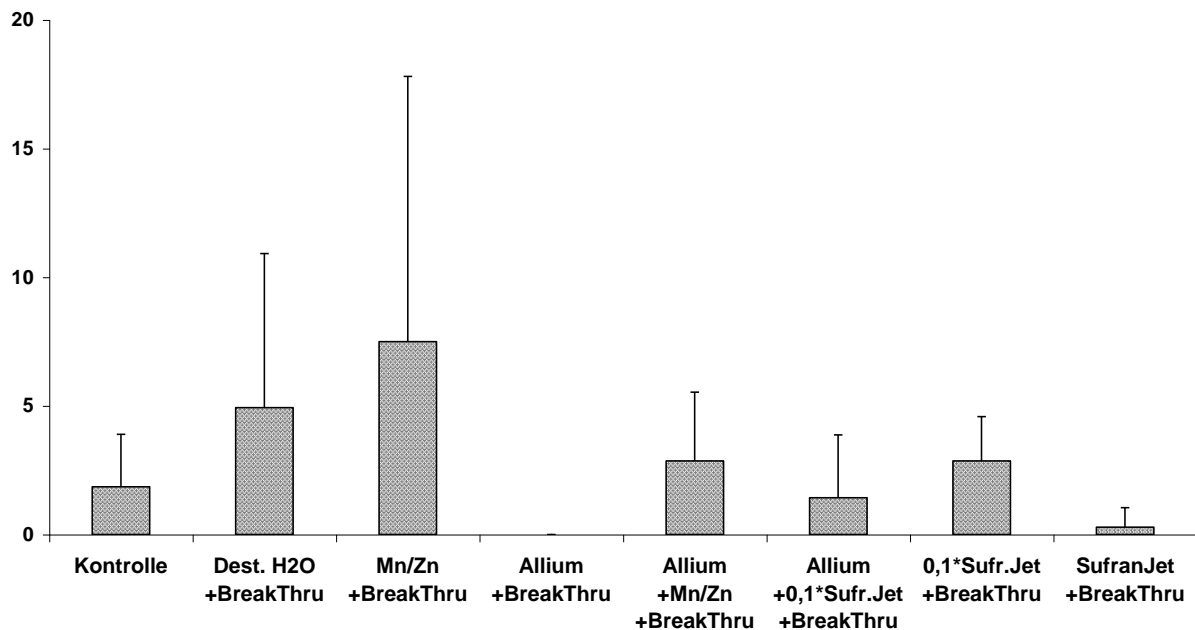


Abb. 6.2: Einfluss von Spritzapplikationen mit Knoblauchextrakt („Allium“), BreakThru[®], Mn/Zn-Sulfat („Mn/Zn“), und Netzschwefel („SufranJet“) auf den Oidiumbefall an den „mittleren Blättern“ von Rebstecklingen der Sorte Bacchus. (Mittelwerte n=7; Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

6.3.2 Spritzapplikation von Knoblauchextrakt und BreakThru[®] (6. Spritzversuch)

6.3.2.1 Einfluss der Spritzapplikation auf den Mehltaubefall

Durch Spritzapplikation mit Knoblauchextrakt konnte der Mehltaubefall hoch signifikant reduziert aber nicht vollständig verhindert werden (Abb. 6.3). Ein mittlerer Befallsgrad von $17 \pm 14\%$ wäre unter Praxisbedingungen nicht tolerierbar gewesen. Auf den starken Mehltaubefall am unbehandelten Neuzuwachs (Befallsgrad 76%) hatte die Knoblauchapplikation keinen Einfluss mehr.

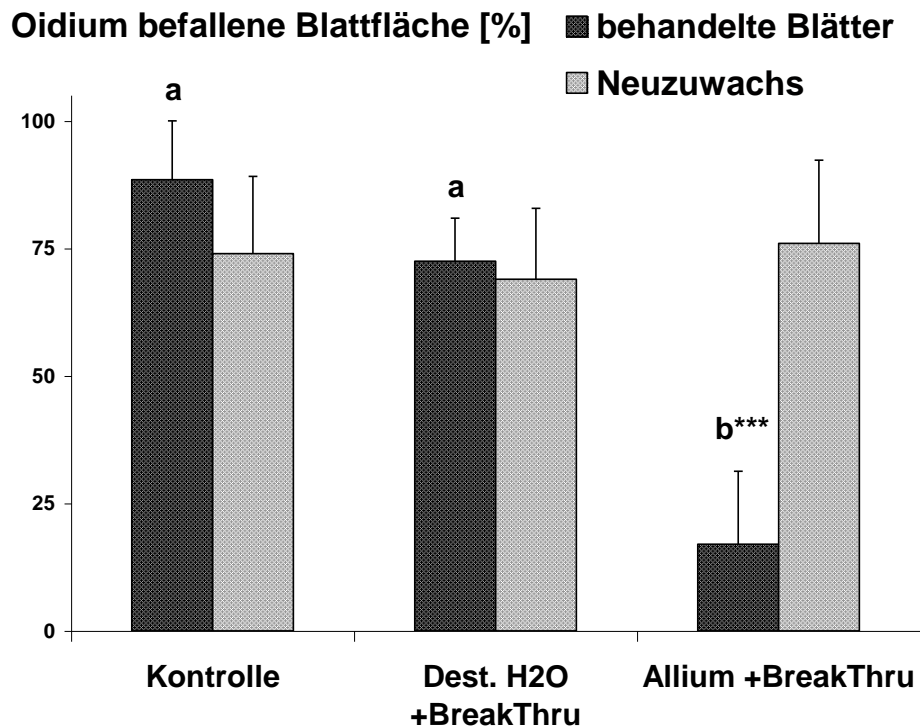


Abb. 6.3: Einfluss von Spritzapplikationen mit Allium und BreakThru® auf den Oidiumbefall an behandelten Blättern und dem unbehandelten Neuzuwachs von Rebstecklingen der Sorte Bacchus. (Mittelwerte n=5, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis Rang-Varianzanalyse; Tukey-Test $p \leq 0,001$); Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung vom Mittelwert)

6.3.2.2 Einfluss von Knoblauchextrakt auf die Ausprägung von postinfektionellen Resistenzmechanismen

Der befallsreduzierende Effekt des Knoblauchextraktes könnte möglicherweise neben der direkt fungiziden Wirkung antimikrobieller Inhaltsstoffe im Zusammenhang mit einer Stärkung postinfektioneller Resistenzmechanismen stehen. Darauf weist das gehäufte Auftreten punktförmiger Nekrosen auf den Blattspreiten hin. Unter dem Binokular konnten die Punktnekrosen als abgestorbene Mehltauinfektionsstellen identifiziert werden (Abb. 6.4).



Abb. 6.4: Nekrotisierte Mehltauinfektionsstellen nach Spritzapplikation von Knoblauchextrakt plus BreakThru® auf Blattspreiten von Rebstecklingen der Sorte Bacchus.

Die Ursache für eine solche Wirkung kann ein verbesserter Nährstoffstatus der Pflanze (S, Mn, Zn, Cu, ...) aufgrund hoher Gehalte im Knoblauchextrakt, Induktion systemischer Resistenz oder ein verzögerter Infektionsverlauf in Folge reduzierter Vitalität der Mehltaupilze sein.

6.4 Fazit aus der Anwendung von Knoblauchextrakt zur Bekämpfung des Echten Mehltaus

Der Einsatz von Knoblauchextrakt zur Bekämpfung des Echten Mehltaus an Weinreben war unter Gewächshausbedingungen wirksam und bewirkte die verstärkte Ausprägung postinfektioneller Resistenzmechanismen. Zusatz von Mn/Zn-Sulfat und reduzierten Netzschwefelaufwandmengen verminderte die Wirksamkeit. Da bei einer Konzentration der Spritzlösung von 10 % Knoblauch (100 g Knoblauch auf 900 ml Liter Wasser) 30 bis 100 kg Knoblauch pro Hektar notwendig sind, wäre zu prüfen, ob auch geringere Konzentrationen oder synthetisch hergestelltes Allicin wirksam sind. Inwiefern sich die Anwendung von Knoblauchpräparaten auf den Weingeschmack auswirkt, wäre ebenfalls ein Aspekt der vor der Anwendung im Ertragsweinbau zu prüfen ist. Ähnliche Produkte auf der Basis von Knoblauch- oder anderen Pflanzenextrakten werden bereits angeboten (Golba, 2001).

C ZUSAMMENFASSENDE TEIL

7 Abschließende Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Entwicklung innovativer Pflanzenschutzverfahren zur Bekämpfung Echter Mehltäupilze und Forschungsausblick

Mit der vorliegenden Arbeit wurde ein Überblick zu den Möglichkeiten bei der Bekämpfung des Echten Mehltaus an Weinreben durch den Einsatz von Si, Mn, Zn und Pflanzenextrakten am Beispiel Knoblauch erarbeitet. Dabei wurde insbesondere zwischen der physiologischen Bedeutung von Si, Mn und Zn für die Ausprägung und Stärkung pflanzeigener Resistenzmechanismen und der Wirksamkeit von Spritzapplikationen zur Schaffung passiver Silikatkrusten als mechanische Infektionsbarrieren unterschieden.

7.1 Bodenapplikation

Der physiologische Si-Status der Pflanzen konnte nur über Boden- nicht über Blatt-Applikation von Silikaten eindeutig verbessert werden. Bezüglich der Bodenapplikation von Silikaten sind jedoch keine praxistauglichen Anwendungen bekannt, wie Silizium-Düngemittel unter Feldbedingungen im Boden verteilt und in den Wurzelraum gebracht werden können, um damit kontinuierlich eine hohe Si-Aufnahme zu ermöglichen. Auch besteht noch weitgehende Unsicherheit darüber ob durch die Bodenapplikation von Silikaten bei nicht Si-Akkumulatoren wie den Weinreben eine ausreichende Si-Aufnahme und wirkungsvolle Ausprägung von Resistenzmechanismen erreicht werden kann. Der in Kap. 4.4 beschriebene Topfversuch spricht dafür, dass über kurzfristige Bodenapplikationen von Kaliwasserglas und Mn/Zn-Chelaten keine praxistauglichen Anwendungen zur wirkungsvollen Mehltäubekämpfung im Weinbau entwickelt werden können, sondern nur durch eine kontinuierlich hohe Si-, Mn- und Zn-Aufnahme. In diesem Zusammenhang könnte der Düngung von Stickstoff in der physiologisch sauer wirkenden Ammoniumform eine wichtige Bedeutung zukommen. Nach RÖMHELD

(1986) führt eine ammoniumbetonte Pflanzenernährung zu einer wesentlich intensiveren Seitenwurzelbildung sowie zu einer Absenkung des pH-Wertes im Rhizospärenbereich. Sowohl das Wasser- als auch das Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanzen wird verbessert. Zusätzlich werden durch diese pH-Wertabsenkungen im Rhizosphärenbereich weitere Nährstoffe wie Phosphor, Silizium und Mikronährstoffe (z. B. Mn, Zn) mobilisiert und pflanzenverfügbar. So kann eine Erniedrigung um eine pH-Einheit eine 100fache Zunahme der Mn^{2+} -Konzentration in der Bodenlösung bewirken (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL, 1992, S. 277). Diese Vorteile sind um so größer, je besser es gelingt die Ammoniumform des Stickstoffes im Boden über einen längeren Zeitraum zu halten was durch eine über Nitrifikationshemmstoffe stabilisierte Ammoniumdüngung bewirkt werden kann. Späte Stickstoffgaben oder anhaltend hohes Stickstoffangebot können sich jedoch nachteilig auf die Holzausreifung und Winterfrosthfestigkeit von Weinreben auswirken (Wample et al., 1993).

7.2 Blattapplikation von Kaliwasserglas, Mn und Zn im Spritz- bzw. Sprühverfahren

Die eindrucksvollsten Erfolge bei der Bekämpfung des Echten Mehltaus an Weinreben wurden bisher mit der Spritzapplikation von Kaliwasserglas in Kombination mit BreakThru[®] durch Schaffung einer Silikat-Kruste auf den Blättern erzielt. Der positive Einfluss von Mn und Zn auf die Wirksamkeit der Kaliwasserglasspritzungen und die gute Mischverträglichkeit von Folicin[®]-Mn/Zn mit Kaliwasserglas sprechen dafür auch künftig die Wechselwirkungen zwischen Si, Mn und Zn stärker zu berücksichtigen und bei der Produktentwicklung mit einzubeziehen. Geeignete Produkt-Formulierungen könnten mit der üblichen Pflanzenschutztechnik ohne weiteren technischen Aufwand angewendet werden und wären daher leicht entsprechend den Möglichkeiten der weinbaulichen Praxis zu realisieren. Bislang wurden allerdings noch keine eigenen Versuche unter Freilandbedingungen durchgeführt und entscheidende Fragen sind noch zu beantworten bevor ein praxisreifes Produkt zur Verfügung stehen kann. Dazu gehört unter anderem ob die Regenfestigkeit der Silikatkruste ausreichend ist oder verbessert werden kann, in

welchen Zeitabständen die Anwendung erfolgen muss um eine ausreichende Schutzwirkung zu gewährleisten und welche Auswirkungen auf den Ertrag und die Produktqualität zu erwarten sind. Zu den grundlegenden Mängeln die noch zu beheben sind gehört auch die phytotoxische Wirkung an den jungen Blättern. Ein wichtiges Argument dafür bei Entwicklung von Alternativen zur Mehлтаubekämpfung auch weiterhin die Optimierung von Kaliwasserglasanwendungen anzustreben ist sicherlich deren kurative Wirkung. Mit den derzeit in der Pflanzenproduktion verfügbaren Wirkstoffen kann der Echte Mehltau nur vorbeugend oder in sehr frühen Entwicklungsstadien bekämpft werden.

7.3 Anwendung von Knoblauchextrakt

Die Anwendung des Knoblauchextraktes im Rahmen dieser Arbeit hatte keinen ausreichenden Wirkungsgrad. Protektive und kurative Eigenschaften waren aber durchaus vorhanden. Da Allicin einer der wenigen Wirkstoffe ist, zu dem bei Mikroorganismen noch keine Resistenzentwicklung gefunden wurde und zudem ein sehr breites Wirkungsspektrum hat, kann mit wachsendem Interesse von Seiten der Wirkstoffforschung gerechnet werden. Die Rolle des Allicins bei der Abwehr von Infektionen könnte vor allem angesichts der bakteriellen Resistenz gegen Antibiotika an Bedeutung gewinnen, aber auch im Hinblick auf die Resistenzproblematik bei der Entwicklung von Mehлтаufungiziden beachtenswert sein.

D REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- Adatia M.H. and Besford R.T., 1986, The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58, 343-351
- Ankri S. and Mirelman D., 1999, Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes Infect.* 1(2),125-129
- Anonym, 2003, Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Weinbau, 1. Auflage 2003, Herausgeber: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Hersteller: Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Bodenwirtschaft, Wien
- Ark P.A. and Thompson J.P., 1959, Control of certain diseases of plants with antibiotics from garlic (*Allium sativum*, L.). *Plant Disease Reporter* 43, 276
- Balasubramanian K.A., 1980, Factors affecting sorghum downy mildew development. *Int Crops Res. Inst. for the semi-arid Tropics* 9, 207-208
- Bavaresco L. and Eibach R., 1987, Investigations on the influence of N fertilizer on resistance to Powdery mildew (*Oidium tuckeri*), Downy mildew (*Plasmopara viticola*) and on phytoalexin synthesis in different grapevine varieties. *Vitis* 26, 192-200.
- Bowen P., Menzies J., Ehret D., Samuels L. and Glass A.D.M., 1992, "Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves," *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117, 906-912
- Barber D.A. and Shone M.G.T., 1966, The absorption of silica from aqueous solutions by plants. *Journal of Experimental Botany* 17, 159-578
- Blaich R. and Wind R., 1989, Inducible silica incrusts in cell walls of *Vitis* leaves, *Vitis* 28, 73-80
- Blaich R. and Grundhöfer H., 1998, Silicate incrusts induced by powdery mildew in cell walls of different plant species. *Z. PflKrankh. Pflanzenschutz* 105, 114-120
- Bolwell G. P. and Wojtaszek P., 1997, Mechanisms for the generation of reactive oxygen species in plant defence - a broad perspective. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 51, 347-366
- Bowen P., Menzies J., Ehret D., Samuels L. and Glass A. D. M., 1992, Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 906-912
- Brain P.J. and Whittington W.J., 1981, The influence of soil pH on the severity of swede powdery mildew, *Erysiphe cruciferarum*, infection. *Plant Pathology* 30, 105-110
- Brown I., Trethowan J., Kerry M., Mansfield J., Bolwell G.P., 1998, Localization of components of the oxidative cross-linking of glycoproteins and of callose synthesis in papillae formed during the interaction between non-pathogenic strains of *Xanthomonas campestris* and French bean mesophyll cells. *Plant-j.* 15 (3), 333-343.

- Bruck R.I. and Manion P.D., 1980, Interacting environmental factors associated with the incidence of Hypoxylon canker on trembling aspen, *Populus tremuloides*. Can. J. For. Res. 10, 17-24
- Buchennauer H. und Borghoff F., 1982, Einfluss von Silikatverbindungen und Borax auf den Befallsverlauf des Mehltaus bei Gersten- und Weizenkeimlingen. Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Cent 47, 875-886
- Burruano S., 2000, The life-cycle of *Plasmopara viticola*, cause of downy mildew of vine. The Mycologist 14, 179-182
- Busam G., Kassemeyer H.-H. and Matern U., 1997, Differential expression of chitinases in *Vitis vinifera* L. responding to systemic acquired resistance activators or fungal challenge. Plant Physiol. 115, 1029-1038
- Cakmak I., 2000, Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146, 185-205
- Cherif M., Asselin A., Belanger R.R., 1994, Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. Phytopathology 84 (3), 236-242
- Claus D., 1979, 90 Jahre Kupferanwendung im Weinbau und immer noch Erkenntnislücken. Weinberg und Keller 26, 142 – 172
- Colquhoun T.T., 1940, Effect of Mn on powdery mildew of wheat. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 6, 54
- Conrath U. und Kauss H., 2000, Systemisch erworbene Resistenz. Das „Immunsystem“ der Pflanze. Biologie in unserer Zeit 30, 202-208
- Datnoff L.E. and Synder G.H., 1991, Effects of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. Plant dis. 75, 729-732
- Dayanadan P., Kaufman P.B. and Franklin C.J., 1983, Detection of silica in plants. Amer. J. Bot., 70 (7), 1079-1084
- Denzer H., Staudt G. and Schlösser E., 1995, Wirtsbesiedlung durch *Plasmopara viticola* bei unterschiedlich anfälligen Wirten. Vitis 34, 45-49
- Dorozhkin N.A. and Kustova A.I., 1955, Vliyaniye mikroelementov na povysheniye urozhaya kartofelya i ego ustoichivost k bolezniam. Zemledelie 66-70, Ref. Zh. Biol. No. 26899
- Dorweiler J.E. and Doebley J., 1997, Developmental analysis of *Teosinte glume architecture1*: a key locus in the evolution of maize (Poaceae). Am J Bot, 84, 1313-1322
- Draycott A.P. and Farley R.F., 1973, Response by sugar beet to soil dressings and foliar sprays of manganese. J. Sci. Fd Agric. 24, 675-683
- Dercks W., Creasy L.L. und Luczka-Bayles C.J., 1995, Stilbene phytoalexins and disease resistance in *Vitis*. In: Daniel M. und Purkayastha R.P. (Hrsg.), Handbook of Phytoalexin Metabolism and Action, S. 287-315, Marcel Dekker Verlag, New York
- Düker A. und Kubiak R., 2004, Ohne Umweg in die Rebe. Das Deutsche Weinmagazin, 2004 (7), 14-17

- El-Baz F.K., Maier P., Wissemeyer A.H. and Horst W.J., 1990, Uptake and distribution of manganese applied to leaves of *Vicia faba* (cv. Herzfreya) and *Zea mays* (cv. Regent) plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 153, 279-282.
- Esau K., 1969, Pflanzenanatomie, Stuttgart: G. Fischer Verlag
- Farina G., Barbieri N., Bassi M. and Betto E., 1976, *Plasmopara viticola* in leaves of *Vitis vinifera*. An electron microscopic study. *Rivista di Patologia Vegetale Serie IV* 12, 43-51
- Focke M., Feld A. and Lichtenthaler K., 1990, Allicin, a naturally occurring antibiotic from garlic, specifically inhibits acetyl-CoA synthetase. *Federation of European Biochemical Societies (FEBS), Letters* 206, 106-108
- Fridlund S., Littlefield S. and Rivers J., 1994, The use of modified microwave digestion/dissolution for the quantitative determination of aluminum, silicon, and iron in biological materials by inductively coupled plasma spectrometry. *Communications in soil science and plant analysis* 25 (78), 933-941
- Gärtel W., 1985, Belastung von Weinbergböden durch Kupfer. *Berichte über Landwirtschaft* 198. Sonderheft, 123-133
- Geering H.R., Hodgson J.F. und Sdano C., 1969, Micronutrient cation complexes in soil solution. IV. The chemical state of manganese in soil solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33, 81-85
- Germar B., 1934, Über einige Wirkungen der Kieselsäure in Getreidepflanzen, insbesondere auf deren Resistenz gegenüber Mehltau. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 62, 102-115
- Gibeaut D.M. and Carpita N.C., 1993, Synthesis of (1→3),(1→4)-β-D-glucan in the Golgi apparatus of maize coleoptiles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90, 3850-3854
- Golba B., 2001, Alternativen zum Einsatz von kupferhaltigen Präparaten im Apfelanbau. Ergebnisse einer Literaturrecherche. Technische Universität München, Fachgebiet Obstbau. Verfügbar unter: https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/dokumente/upload/be2cf_kupferarbeit.pdf [abgerufen am 07.03.2019]
- Goor B.J. van and Wiersma D., 1974, Redistribution of potassium, calcium, magnesium and manganese in the plant. *Physiol. Plant* 31, 163-168
- Graham R.D., 1983, Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. *Adv. Bot. Res.* 10, 221-276
- Graham R.D. and Rovira A.D., 1984, A role for manganese in the resistance of wheat plants to take all. *Plant Soil* 78, 441-444
- Grosse-Brauckmann E., 1957, Über den Einfluss der Kieselsäure auf den Mehltaubefall von Getreide bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung. *Phytopathology* 30, 112-116
- Grundhöfer H., 1994, Einfluß von Silikataufnahme und –einlagerung auf den Befall der Rebe mit Echtem Mehltau, Dissertation, Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau, Lehrstuhl für Weinbau, Universität Hohenheim und Institut für Rebenzüchtung Geilweilerhof, Deutschland

- Hannam R.J., Graham R.D. and Riggs J.L., 1985, Redistribution of manganese in maturing *Lupinus angustifolius* cv. Illyarrie in relation to levels of previous accumulation. *Ann. Bot.* 56, 821-834
- Heath M.C., 1974, Light and electron microscope studies of the interactions of host and non-host plants with cowpea rust: *Uromyces phaseoli* var. *vignae*. *Physiol. Plant Path.* 4 , 403-414
- Heath M.C., 1998, Involvement of reactive oxygen species in the response of resistant (hypersensitive) or susceptible cowpeas to the cowpea rust fungus. *New-phytol.* 138 (2), 251-263
- Hill W.J., Heckman J.R., Clarke B.B., Murphy J.A., 1999, Take-all patch suppression in creeping bentgrass with manganese and copper. *HortScience* 34 (5), 891-892
- Hock B. und Elstner E.F., 1995, *Schadwirkungen auf Pflanzen. 3. Auflage.* Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg-Berlin-Oxford
- Huber D.M. and Wilhelm N.S., 1988, The role of manganese in resistance to plant diseases. In: Graham R.D., Hannan R.J., Uren N.C. (Eds.), *Manganese in Soils and Plants.* p. 155-173, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Huber D.M., 1989, The role of nutrition in the take-all disease of wheat and other small grains. In: Arthur W. (Eds.), *Soilborne Plant Pathogens: Management of Diseases with Macro- and Microelements.* p. 46-74, Engelhard. St. Paul, Minn.: APS Press
- Jahn M. und Beer H., 1999, Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze – Zweites Fachgespräch am 5. November 1998 in Darmstadt. "Die Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel, ihre Auswirkungen auf den Naturhaushalt und Erörterung der Möglichkeiten, unerwünschte Auswirkungen zu begrenzen." *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 53, S. 85
- Jiang D., Zeyen R.J., Russo V., 1989, Silicon enhances resistance of barley to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*). *Phytopathology* 79, 1198 (Abstr.)
- Kaufman P.B., Dayanandan P., Takeokata Y., Bigelow W.C., Jones J.D., Iler R.K., 1981, Silica in shoots of higher plants. In: Simpson T.L. and Volani B.E. (Eds.), *Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems.*p. 409-446, Springer Verlag, New York
- Kawaoka A., Kaothien P., Yoshida K., Endo S., Yamada K., Ebinuma H., 2000, Functional analysis of tobacco LIM protein Ntlm1 involved in lignin biosynthesis. *Plant-j.* 22 (4), 289-301
- Kennedy M.K. and Kielbaso J.J., 1978, Medicap implants for control of an oak leaf miner in a suburban street tree planting. *Proceedings, Symposium on Systemic Chemical Treatments in Tree Culture, Michigan State University,* 341-347
- Kiba A., Miyake C., Toyoda K., Ichinose Y., Yamada T., Shiraishi T., 1997, Superoxide generation in extracts from isolated plant cell walls is regulated by fungal signal molecules. *Phytopathology* 87 (8), 846-852
- Koch H.P. and Lawson L.D., 1996, *Garlic: The Science and Therapeutic Application of Allium sativaum L and Related Species,* 2d ed. Baltimore: Williams and Wilkins

- Kortekamp A., Wind R. and Zyprian E., 1997, The role of callose deposits during infection of two downy mildew-tolerant and two –susceptible *Vitis* cultivars. *Vitis* 36, 103-104
- Kortekamp A. and Zyprian E., 1999, Leaf hairs as a basic protective barrier against downy mildew of grape. *J. Phytopathol.* 147, 453-459
- Kortekamp A., Wind R. and Zyprian E., 1999, The role of hairs on the wettability of grapevine (*Vitis* spp.) leaves. *Vitis* 38, 101-105
- Kortekamp A. and Zyprian E., 2003, Characterization of *Plasmopara*-Resistance in grapevine using in vitro plants. *J. Plant Physiol.* 160, 1393-1400
- Kühne S. und Friedrich B., 2003 a, Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Neuntes Fachgespräch am 22. Mai 2003 in Kleinmachnow, „Zur Anwendung von Schwefel als Pflanzenschutzmittel - Praxiseinsatz, Nebenwirkungen und Zulassung" *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt*, Heft 123, S. 45
- Kühne J. und Friedrich B., 2003 b, Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Siebtes Fachgespräch am 6. Juni 2002 in Berlin-Dahlem, " Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel" *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt*, Heft 118, S. 71
- Kumar P. and Shankar R., 2003, Novel pentacoordinate silicon compounds bearing [Si-N-C-N-C-N] chelate ring derived from biguanide ligands. *Journal of Organometallic Chemistry* 687, 190-196
- Kunoh H. and Ishizaki H., 1975, Silicon levels near penetration sites of fungi on wheat, barley, cucumber and morning glory leaves. *Physiological Plant Pathology* 5, 283-287
- Lafos K., 1995, Die Aufnahme und Verteilung von Silizium in Reben (*Vitis* ssp). Dissertation, Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Universität, Gießen und Institut für Biologie, Fachgebiet für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Forschungsanstalt Geisenheim, Deutschland
- Lemperle E., 1985, Rückstandsverhalten kupferhaltiger Peronospora-Fungizide. *Der Badische Winzer* (6) 309, 312 – 313
- Leusch H.-J. und Buchenauer H., 1988 a, Einfluss von Bodenbehandlungen mit siliziumreichen Kalken und Natursilikat auf den Mehltaubefall von Weizen. *Kali-Briefe (Büntehof)* 19 (1), 1-11
- Leusch H.-J. und Buchenauer H., 1988 b, Si-Gehalte und Si-Lokalisation im Weizenblatt und deren Bedeutung für die Abwehr einer Mehltauinfektion. *Kali-Briefe (Büntehof)* 19 (1), 13-24
- Lewis D.H., 1980, Are there interrelations between the metabolic role of boron synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? *New Phytologist* 84, 261-270
- Liang Y., Sun W. and Römheld V., 2003, Mechanisms of silicon-enhanced resistance to infection by *Sphaerotheca fuliginea* in *Cucumis sativus*. International Conference on Biological Resources and Migration, October 5-8, Marburg, Germany, (poster presentation)
- Marschner H., Oberle H., Cakmak I. and Römheld V., 1990, Growth enhancement by silicon in cucumber (*Cucumis sativus*) plants depends on imbalance in

- phosphorus and zinc supply. In: van Beusichem M.L., Plant nutrition – physiology and applications, p. 241-249, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands
- Marschner H., 1995, Mineral nutrition of higher plants. Second edition, Academic Press, London
- Mehdy M.C., Sharma Y.K., Sathasivan K. and Bays N.W., 1996, The role of activated oxygen species in plant disease resistance. *Physiol. Plantarum* 98, 365-374
- Mengel K., 1979, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 5. überarbeitete Auflage
- Menzies J.G., Ehret D.L., Glass A.D.M. and Samuels A.L., 1991, The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fugliginea* and *Cucumis sativus*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 39, 403-414
- Menzies J., Bowen P., Ehret D. and Glass A.D.M., 1992, Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 117 (6), 902-905
- Meyer G., 1939, Zellphysiologische und anatomische Untersuchungen über die Reaktion der Kartoffelknolle auf den Angriff der *Phytophthora infestans* bei Sorten verschiedener Resistenz. *Arb. Biol. Reichsanstalt Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem* 23, 97-132
- Moll E., Walther U., Flath K., Prochnow J. und Sachs E., 1996, Methodische Anleitung zur Bewertung der partiellen Resistenz und die SAS-Anwendung RESI. *Ber. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft* 12, 1-60
- Mudich A., 1967, Effect of trace elements bound to superphosphate on the resistance of potato tubers to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Acta Phytopathol. Akad. Sci. Hungary* 2, 295-302
- Munk H., 1982, Zur Bedeutung silikatischer Stoffe bei der Düngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Landwirts. Forsch.* 35, 264-277
- Piperno D.R., Holst I., Wessel-Beaver L. and Andres T.C., 2002, Evidence for the control of phytolith formation in *Cucurbita fruits* by the hard rind (Hr) genetic locus: archaeological and ecological implications. *Proc Natl Acad Sci USA*, 99, 10923-10928
- Rahman H., 2003, Effect of nutritional status of rice plants on rice blast disease in Bangladesh under special consideration of silicon, manganese, zinc and boron. Master Thesis, Institute for Plant Nutrition, University of Hohenheim, Germany
- Rengel Z., Graham R.D., Pedler J.F., 1994, Time-course of biosynthesis of phenolics and lignin in roots of wheat genotypes differing in manganese efficiency and resistance to take-all fungus. *Ann-bot.* 74 (5), 471-477
- Reynolds A.G., Veto L. J., Sholberg P. L., Wardle D. A., Haag P., 1996, Use of potassium silicate for the control of powdery mildew [*Uncinula necator* (Schwein) Burrill] in *Vitis vinifera* L. Cultivar Bacchus. *Am. J. Enol.Vitic.* 47 (4), 421-428
- Ride J.P. and Pearce R.B., 1979, Lignification and papilla formation at sites of attempted penetration of wheat leaves by non-pathogenic fungi. *Physiol. Pl. Pathol.* 15, 79-92

- Robinson R.W., 1978, Linkage relations of genes for tolerance to powdery mildew in cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative No. 1, 11
- Rogalla H. and Römheld V., 2001, Mechanism of silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L.: Effect of silicon nutrition on manganese concentration in the intercellular washing fluid, In: Horst W.J. et al. (Eds.), 2001, Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems. p. 258-259, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Rogalla H., 2001, Einfluss von Silizium Austauschereigenschaften des Apoplasten und Bindungszustand von Nährstoffen in Blättern. Dissertation Universität Hohenheim, Institut für Botanik und Botanischer Garten und Institut für Pflanzenernährung, Verlag Grauer, Beuren und Stuttgart
- Rogalla H. and Römheld V., 2002 a, Effects of Silicon on the Availability of Boron: Possible effects on the phenol pathway and on the redox status in *Cucumis sativus* L. In: Goldbach H, Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Thellier M., Bell R.W., Eds., Boron in Plant and Animal Nutrition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- Rogalla H. and Römheld V., 2002 b, Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L.. Plant, Cell and Environment 25, 549-555
- Russell P.E. and Mussa A.E., 1977, The use of garlic to control foot rot of *Phaseolus vulgaris* caused by *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*. Annals of Applied Biology 86, 369-372
- Ryals J. A., Neuenschwander U.H., Willits M.G., Molina A., Steiner H.Y. and Hunt M.D., 1996, Systemic Acquired Resistance. Plant Journal 8, 1809-1819
- Samuels A.L., Glass A.D.M., Ehret D.L. and Menzies J.G., 1991, Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. Plant Cell Environ. 14, 485-492
- Samuels A.L., Glass A.D.M., Menzies J.G., Ehret D.L., 1994, Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. 44 (4), 237-242
- Sanders J.R., 1983, The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solutions. J. Soil Sci. 34, 315-323
- Scheffer F. und Schachtschabel P., 1992, Lehrbuch der Bodenkunde.- 13. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schopfer P. und Brennicke A., 1999, Pflanzenphysiologie, 5. Auflage, S. 610-622, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Scholten J., 2001, Minerals in plants. Utrecht, The Netherlands: Stichting Alonnisos
- Schwab H., 1987, Einfluss der Humuswirtschaft und der Schwermetallgehalte des Bodens auf Größe und artliche Zusammensetzung von Regenwurmpopulationen in Keuperweinbergen im Raum Stuttgart. Wein-Wissenschaft 42, 86-111
- Skou J.P., 1981, Morphology and cytology of the infection process. In: Asher M.J.C. and Shipton P.J. (Eds.), Biology and Control of Take-all. p. 175-197, Academic press, London

- Staer B., 2003, Blattapplikation von Kaliwasserglas mit Hilfe von Additiven bei Reben. Master Thesis, Institut für Sonderkulturen und Produktionsphysiologie, Fachgebiet Weinbau, Universität Hohenheim, Deutschland
- Stein U., Heintz C., Blaich R., 1985, In vitro examination of grapevines regarding resistance to powdery and downy mildew. *J. Plant. Dis-Prot.* 92 (4), 355-369
- Sticher H. und Bach R., 1965, Kieselsäure und Pflanze. *Schweiz. Landwirtsch. Forschung* 4, 352-359
- Sticher L., Mauch-Mani B. and Metraux J.P., 1997, Systemic Acquired Resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35, 235-370
- Tsai Z.C. and Wang A.Y., 2003, Identification of rice manganese-dependent protein kinases that phosphorylate sucrose synthase at multiple serine residues. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 44, 141-150
- Vlamis J. and Yarwood C.E., 1962, Effect of liming of soil on barley powdery mildew. *Plant Dis. Rep.* 46, 886-887
- Wample R. L., Spayd S. E., Evans R. G., Stevens R. G., 1993, Nitrogen fertilization of White Riesling grapes in Washington: nitrogen seasonal effects on bud cold hardiness and carbohydrate reserves. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:2, 159-167.
- Wiese H., Nikolic M. and Römheld V., 2007, Silicon in Plant Nutrition. In: Sattelmacher B. and Horst W. J., (Eds.), *The Apoplast of Higher Plants: Compartment for storage, Transport and Reactions.* Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, pp. 33-47.
- Williams D.E., und Vlamis J., 1957, The effect of silicon on yield and manganese-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. *Plant Physiol.* 32, 404-409
- Yildirim I., Onogur E. and Irshad M., 2002, Investigations on the Efficacy of some Natural Chemicals against Powdery Mildew [*Uncinula necator* (Schw.) Burr.] of Grape. *Journal of Phytopathology* 150 (11-12), 697 –702
- Yokoyama K., Aist J.R. and Bayles C.J., 1991, A papilla-regulating extract that induces resistance to barley powdery mildew. *Physiol-Mol-Plant-Pathol.* 39 (1), 71-78
- Yoshida S., Ohnishi Y. and Kitagishi K., 1962, Histochemistry of silicon in Rice plant III, The presence of cuticle silica double layer in the epidermal tissue. *Soil Science and Plant Nutrition* 8, 1-5