

Kupfer ist mehr als ein Schwermetall
- Kupfer als Pflanzenschutzmittel im biologischen Rebbau -

Eine Literaturstudie
vorgelegt

von

Karin Lundsgaard
Veronika Prochazka
Nikolai Fuchs

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	3
Kupfer als Element und sein Vorkommen.....	4
Kupfer im Boden.....	4
Kupfer in der Pflanze.....	5
Wie wirkt Kupfer in der Pflanze und welche Störungen kann Cu-Mangel auslösen?.....	5
Kupfer im Tier	6
Kupfer im Menschen und seine Anwendung in der Medizin.....	6
Exkurs: Zusammenfassende Charakterisierung des Kupfers.....	7
Zu Wesensmerkmalen von Pflanzen.....	7
Prinzipielles zu Pflanzenkrankheiten.....	8
Die Rebe.....	8
Der Falsche Mehltau - Peronospora.....	9
Überlegungen zur Behandlung von Peronospora an Reben mit Kupfer.....	9
Zwischenfazit.....	10
Schlussbetrachtungen, Forschungsfragen und Denkanstöße.....	10
Effiziente Kupferanwendung.....	11
Welche Kupferverbindungen sind vertretbar?.....	11
Forschungsprojekte zu Kupfer.....	12
Laufende Versuche zu Ersatz- und Ergänzungsmitteln zu Kupfer.....	12
Homöopathie.....	12
Vegetabilisierung von Kupfer	12
Denkanstöße.....	12
Ausblick.....	13
Zusammenfassung.....	13

Einleitung

Kupfer ist seit einigen Jahren als Pflanzenschutzmittel zur Pilzbehandlung im biologischen Reb-, Obst- und Kartoffelbau in Verruf geraten. Kupferbehandlungen können in größeren Mengen längerfristig dazu führen, dass sich das Kupfer im Boden als Schwermetall anreichert und das Bodenleben schädigt. Dieser Nachteil der Kupferanwendung, der schon länger untersucht worden ist und in strengen Höchstmengen-Richtliniendes Bio-Landbaus seinen Niederschlag gefunden hat, wurde unter anderem von dem Wissenschafts-Populisten Udo Pollmer und dem als Gutachter für den Höchst-Konzern tätigen Prof. Michael Schmitz von der Uni Giessen zu Zeiten der Agrarwende als Beleg dafür angeführt – in dem Bilder wie „Bio-Boden musste als Sonderabfall entsorgt werden“¹ verbreitet wurden – dass Bio-Landbau als Risiko-Landwirtschaft eingestuft werden müsse. Durch diese Betrachtungen wird in der Öffentlichkeit das Bild vermittelt, im Bio-Landbau würden Schwermetalle eingesetzt, die Böden kontaminierten. Des Beleges für die tatsächliche Kontamination schuldig, steht zu vermuten, dass die Kritiker des Kupfereinsatzes sich auf ein Beispiel beziehen, wo ein neu umgestellter Betrieb eines Biowinzers mit der Erblast der vorherigen konventionellen Wirtschaftsweise zu kämpfen hatte, in dem Kupfereinsätze von 20 und mehr Kilo/ha und Jahr üblich waren und zum Teil bis heute noch gestattet sind.

Trotzdem ist damit der Bio-Landbau in der öffentlichen Wahrnehmung in ein schlechtes Licht geraten. Durch diese Ereignisse in Not gebracht, versucht nun der Bio-Landbau verstärkt diesen Makel los zu werden. Gleich mehrere Forschungsprojekte des im Jahre 2002 in Deutschland aufgelegten Bundesprogramms Öko-Landbau beschäftigen sich, neben der schon bislang erfolgten Forschung, mit der weiteren Erforschung von Kupfer-Ersatzmitteln. Unabhängig davon schwebt seit Jahren das Damoklesschwert eines möglichen Verbots von Kupfer von Seiten der EU über dem Bio-Landbau. Die erste Frist bis zu einem Verbot lief Ende 2002 aus; sie musste jedoch verlängert werden, da keine ausreichend wirksamen Alternativen zum Kupfereinsatz gefunden werden konnten (genaue Angaben zu den neuen Fristen mit den jeweiligen Aufwandshöchstmengen siehe EU-VO 2092/91)². Dass dies in den nächsten Jahren gelingen könnte, ist, wie unten zu zeigen sein wird, eher unwahrscheinlich. Droht dennoch ein möglicherweise politisch motiviertes Verbot, dann könnte das für viele Betriebe des biologischen Landbaus im Bereich der Sonderkulturen das Aus bedeuten.

Kupfer auf seine Eigenschaft als Schwermetall zu reduzieren, greift indes zu kurz. Kupfer ist Bestandteil der Erdkruste und aller Lebewesen, und ist an vielen Lebensprozessen essentiell beteiligt. Das Geheimnis des Erfolges der fungiziden Wirkung ist nur zu einem Teil auf die Abtötung der Pilzsporen zurück zu führen. Der andere Teil des Erfolges beruht auf einer Stärkung des Eiweissstoffwechsels der Pflanze. Insofern ist Kupfer auch „Heilmittel“. Das sagt nichts gegen den Schwermetallaspekt des Kupfers, ruft aber zu einer differenzierteren Betrachtung und Beurteilung des Kupfereinsatzes auf.

Der folgende Beitrag will versuchen zu einer Versachlichung der Diskussion beizutragen und den Komplex „Kupferanwendung“ umfassend in den Blick zu nehmen. Dazu soll am Beispiel der Kupferanwendung im Rebbau im Hinblick auf den Falschen Mehltau kurz auf das Kupfer selbst, die Weinrebe und ihre jüngere Geschichte in Europa sowie die Frage von Pflanzenkrankheiten als solche eingegangen werden. Zum Schluss soll aus den gewonnenen Erkenntnissen eine Empfehlung für den weiteren Umgang mit der Kupferanwendung abgeleitet werden.

¹ Pollmer in Miersch, M. in DIE WELT, 14.6.2002

² EU-VO 2092/91, geändert gemäss VO 473/02 vom 15.3.02; aus www.boku.ac.at vom 15.7.2003, S. 70

Kupfer als Element und sein Vorkommen

Als die eigentlichen Träger des Lebens können die sechs Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, Schwefel und Phosphor angesehen werden. Beim Aufbau lebendiger Organismen sind noch andere Elemente in sehr viel kleinerer Menge beteiligt. Hierbei sind die Metalle zu nennen, wobei die unedlen Metalle substantiell eine grössere und die echten Metalle, z.B. Kupfer und Eisen, eine eher übergeordnete Rolle spielen. Die so genannten Edelmetalle, z.B. Gold und Platin, nehmen substanzmäßig nicht am biologischen Leben teil.³

In seiner vielfältigen Farbigkeit tritt das Kupfer den Naturreichen und dem Menschen entgegen. Sein ausserordentlich Farbiges erscheint beim reinen Metall an seiner Oberfläche von rosenfarben bis braunrot, in der Durchsicht feinsten Schichten schattig blaugrün, als Gegenfarbe zum Orangerot des spiegelnden Metalls. In den Erzen des Kupfers offenbart sich eine Farbenwelt, welche vom leuchtend Goldgelben des Kupferkieses, dem Grün der Malachite, dem Blau des Azurit bishin zum violetten Blau der Covellin reicht. In der Spektralanalyse zeigt sich darüber hinaus, dass sich die Spektrallinien des Sonnenlichtes und des Kupfers, sowie die der meisten anderen Metalle, gleichen, so dass beim Sonnenlicht auch von einer Metallität, einer Substantialität des Metalles, in Lichtform gesprochen werden kann. Hier tritt das kosmische Verhältnis des Kupfers zu der Welt des Lichtes zum Vor-Schein. Die Welt der Wärme wiederum findet im Kupfer den besten metallischen Leiter nach Silber. Dem besonderen Verhältnis des Kupfers zur Wärme werden wir auch in der Sinneshaftigkeit des Menschen beim Anblick eines glänzenden Stück Kupfers gewahr, indem er unmittelbar von einem Freundlich-Durchwärmenden ergriffen wird.

Das im Erdreich weit verbreitete Kupfer kommt vorwiegend in Erzform vor.⁴ Die wichtigsten Kupfererze sind Schwefelverbindungen, von welchen die verbreitetste Verbindung ein Kupfer-Eisen-Sulfid, der Kupferkies, ist.⁵ In Gesteinen liegt Kupfer nach Oxidation u.a. als Malachit vor, daneben kann es anstelle von Magnesium und Eisen in Silikaten gebunden sein. Der mittlere Cu-Gehalt der kontinentalen Kruste beträgt 35 mg/kg, in Gesteinen 4-90 mg/kg.⁶ In Böden ist Kupfer vor allem an die organische Substanz und an Mangan- und Eisenoxide gebunden. Daneben ist es in silikatischer Bindung und zu geringen Anteilen in austauschbarer und gelöster Form vorhanden.

Kupfer ist für alle Lebewesen ein essentielles Element und wird regelmäßig über die Nahrung aufgenommen. Bei Cu-Überschuss können jedoch auch toxische Wirkungen bei Pflanzen, Pilzen und einigen Tieren wie Regenwürmern, auftreten. Chronische Cu-Toxizität beim Menschen ist dagegen kaum bekannt.⁷

Kupfer im Boden

Die Cu-Gehalte unbelasteter Ackerböden betragen in der Regel 2-40 mg/kg; in belasteten Böden wurden bis zu 1000 mg Cu/kg festgestellt.⁸ In der EU ist der Grenzwert 150 mg Cu/kg lufttrockenem Boden bei landwirtschaftlichen Nutzflächen. Zusätzlich zum Cu-Gehalt der Böden stellt sich die Frage nach der Bindungsart des Kupfers im Boden.⁹ Untersuchungen in A-Horizonten

³ Wolff O.: Grundlagen einer geisteswissenschaftlich erweiterten Biochemie, Verlag Freies Geistesleben, 1998, S. 288

⁴ Pelikan W.: Die sieben Metalle, Verlag Goetheanum, 1981, S. 107, 108

⁵ Pelikan W.: Die sieben Metalle, Verlag Goetheanum, 1981, S. 108

⁶ Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S. 281

⁷ Farth, Henschler, Rummel, Starke: Pharmakologie und Toxikologie, 1992, Mannheim u.a.

⁸ Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S. 281

⁹ Zum Folgenden: Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S.282

von Böden des gemäßigt-humiden Bereiches mit unterschiedlichen Cu-Gesamtgehalten zeigen, dass 25-75% des Kupfers in organischer Bindung, 15-70% an Mn- und Fe-Oxide gebunden und 1-10% in silikatischer Bindung vorliegen. Von dem durch Mn- und Fe-Oxide sowie organische Substanzen gebundenen Kupfer liegt der Hauptteil in sehr fest gebundener und schwer desorbierbarer Form vor, und trägt daher wenig zur Cu-Verfügbarkeit bei. Bei pH-Werten unter 6 bildet die organisch gebundene Fraktion im Boden in der Regel den grössten Anteil. Bei neutraler Bodenreaktion überwiegen z.T. die oxidisch gebundenen Anteile. Hochmolekulare unlösliche organische Substanzen, wie z.B. Torf, können zu einer starken Cu-Fixierung und dadurch zu Cu-Mangel bei Pflanzen führen. In der Bodenlösung liegt Kupfer bei pH-Werten über 6 fast ausschließlich in Form organischer Komplexe vor, bei pH-Werten unter 5, das heisst übersäuerten Böden, steigt der Anteil an Cu^{++} am Gesamt-Kupfergehalt der Bodenlösung zunehmend an.

Kupfer in der Pflanze

Die Cu-Gehalte der Pflanzen betragen in der Regel zwischen 2-20 mg/kg TS.¹⁰ In Lebensmitteln ist Kupfer beispielsweise zu 4 mg im Kilo Brot und zu 2 mg im Kilo Kartoffel enthalten.¹¹

Kupfer wird von den Pflanzen als Cu^{++} und wahrscheinlich auch in Form niedermolekularer organischer Komplexe und z.T. aus anorganischen Komplexen aufgenommen. Aus diesem Grund wird die Cu-Aufnahme in unbelasteten Kulturböden (pH>5, ausreichende Cu-Verfügbarkeit vorausgesetzt) meist nicht oder nur wenig vom pH-Wert der Böden beeinflusst, wie es im Allgemeinen für die Aufnahme von Spurenelementen gilt. So ist Cu-Mangel auf CaCO_3 -haltigen Böden sehr selten, da Kupfer bei den hohen pH-Werten dieser Böden in Form organischer Komplexe oder als Hydroxy- und Carbonato-Komplexe in der Bodenlösung vorliegt.

Wie wirkt Kupfer in der Pflanze und welche Störungen kann Cu-Mangel auslösen?

Kupfer ist an den Prozessen des Eiweissaufbaus maßgeblich beteiligt.¹² Kupfer steuert im pflanzlichen Gewebe verschiedene enzymatische Vorgänge, insbesondere die Oxydasen, welche wiederum den N-Stoffwechsel mitbestimmen.¹³ Insofern muss Kupfer im Pflanzenstoffwechsel eine maßgebliche Rolle zugesprochen werden. Die häufig geäußerte Meinung, „Kupfer ist auch Mikronährstoff“ wird der zentralen Rolle des Kupfers nicht ganz gerecht. Liegt in der Pflanze Cu-Mangel vor, führt dies zu einem Überschuss an löslichem Stickstoff, wodurch eine Krankheitsausbreitung gefördert wird.¹⁴ Ein Teil der „fungiziden“ Eigenschaften des Kupfers zeigt sich also in der Förderung der Eiweissbildung und leistet damit einen direkten – bei Applikation auf das Blatt sogar punktuellen – Beitrag zu einem ausgeglichenen Nährstoffhaushalt, der wiederum die Voraussetzung für positive Resistenzeigenschaften der Pflanze gegen Pilze darstellt. Ein anderer Teil der fungiziden Wirkung des Kupfers beruht darauf, dass freie Kupferionen die Sporenkeimung unterbinden¹⁵.

Beispiele für Krankheitssymptome durch Cu-Mangel sind die „Heidemoorkrankheit“ bei Getreide

¹⁰ Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S.282

¹¹ Pelikan W.: Die sieben Metalle, Verlag Goetheanum, 1981, S. 112

¹² PRIMAVESI in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 67

¹³ Hofmann, Köpfer, Werner: Ökologischer Weinbau, Ulmer Verlag, 1995, S. 181

¹⁴ PRIMAVESI in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 67

¹⁵ Hofmann, Köpfer, Werner: Ökologischer Weinbau, Ulmer Verlag, 1995, S. 181

und Hülsenfrüchten, Chlorophylldefekte, Blattnekrosen und die Benachteiligung der generativen gegenüber der vegetativen Ausbildung der Pflanze.¹⁶

Um Cu-Mangel zu beheben, wird für alle Bodenarten alle 5-8 Jahre sogar eine Düngung von 2-5kg Cu/ha in Form von Kupfersulfat, Kupferschlackenmehl oder feingemahlene Cu-Legierungen empfohlen.¹⁷

Kupfer im Tier

Kupfer ist für die Funktion und Synthese einiger Enzyme notwendig und bei warmblütigen Lebewesen notwendige Voraussetzung für die Bildung von Hämoglobin im Blut. Es ist beteiligt am Einbau des Eisens in die roten Blutkörperchen, am Zellwachstum, der Wundheilung sowie am Aufbau der Abwehrkräfte und des Knochenbaus.¹⁸

Unter den kaltblütigen Tieren wie Arthropoden und Mollusken weit verbreitet ist das kupferhaltige Hämocyanin, das dem O₂-Transport dient und an Stelle des eisenhaltigen Hämoglobins der warmblütigen Lebewesen tritt.¹⁹

Bei der Tierhaltung wird ein Cu-Gehalt im Futter von 5-6 mg/kg in der Regel als ausreichend angesehen.²⁰ Bei Schafen ist die Cu-Toleranz, d.h. die Spanne zwischen Cu-Bedarf und Cu-Giftwirkung, besonders gering.²¹ Ungenügende Cu-Versorgung des Muttertieres kann bei Schaflämmern zu Störungen des Zentralnervensystems führen, was sich z.B. in Saugunfähigkeit, Einknicken in den Gelenken und Koordinationsstörungen zeigt.²²

Kupfer im Menschen und seine Anwendung in der Medizin

Der menschliche Körper enthält etwa 100 mg Kupfer, welches überwiegend in Proteine eingebunden aufzufinden ist. Die höchsten Konzentrationen wurden in der Leber, weniger hohe in Gehirn, Herz und Nieren gemessen. Die Leber ist das Zentralorgan des Kupferstoffwechsels. Das Kupfer wird hier gespeichert und in kupferhaltige Leberenzyme eingebaut. Sehr hohe Kupferwerte im Menschen treten vor allem in Phasen auf, in denen eine erhöhte Aufbau- und Stoffwechsellätigkeit stattfindet. Bei Schwangeren sind die Serumkupfergehalte ca. auf das Doppelte erhöht, bei Neugeborenen ist der Kupfergehalt der Leber um das 3-10 fache höher als bei Erwachsenen. Kupferhaltige Enzyme sind u.a. an der Mobilisierung des Eisens beteiligt, welches dadurch für die Hämoglobinsynthese verfügbar gemacht wird. Die ausreichende Zufuhrmenge an Kupfer in der menschlichen Ernährung beträgt 2-5 mg pro Tag, was in einer gemischten Kost enthalten ist.²³ Ein Mangel an Kupfer kann sich in Anämie, geschwächter Abwehrkraft, Kopfschmerzen und Durchfall zeigen.²⁴

Nach dem durch die Anthroposophie erweiterten Menschen- und Naturverständnis wirkt Kupfer durch seine einhüllenden Eigenschaften aktiv anregend auf die Wärmeorganisation und stimuliert

¹⁶ Pelikan W.: Die sieben Metalle, Verlag Goetheanum, 1981, S. 112

¹⁷ Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S. 282

¹⁸ Clostermann R.: Kupfer und Schwefel im Obstbau, Tagungsdokumentation zum biologisch-dynamischen Obstbau 2002, Goetheanum, Dornach, S. 47

¹⁹ Cleffmann G.: Stoffwechsellphysiologie der Tiere, Ulmer Verlag, 1987, S. 26, 156

Clostermann: Kupfer und Schwefel im Obstbau, Tagungsdokumentation zum biologisch-dynamischen Obstbau 2002, Goetheanum, Dornach, S. 47

²⁰ Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, 1992, S. 282

²¹ Koepf, Schaumann, Haccius: Biologisch-Dynamische Landwirtschaft; Ulmer Verlag, 1996, S. 285

²² Rossow N.: Innere Medizin für Tierärzte, Ulmer Verlag, 1995, S. 297, 314

²³ Elmadfa I., Leitzmann C.: Ernährung des Menschen, Ulmer Verlag, 1990, S. 207, 208

²⁴ Clostermann R.: Kupfer und Schwefel im Obstbau, Tagungsdokumentation zum biologisch-dynamischen Obstbau 2002, Goetheanum, Dornach, S. 47

damit ihre aufbauenden Funktionen (siehe oben: z.B. bei Schwangeren und Neugeborenen). Je nachdem, ob gesteigerte, einseitige oder schwache Kupferprozesse im Menschen vorliegen, was sich an bestimmten Symptombildern erkennen lässt, werden in der Homöopathie und anthroposophischen Medizin entsprechende Cu-Heilmittel eingesetzt. Eine Rolle spielen Cu-Präparate im Nierenfunktionsbereich, die hier lenkend bei der Ausscheidung mit eingreifen, im Eiweissstoffwechsel sowie im Schilddrüsenfunktionsbereich.²⁵ In den 20er Jahren gab Rudolf Steiner in Zusammenarbeit mit Ärzten für verschiedenste Krankheitszustände Therapieempfehlungen mit Cu-Heilmitteln (siehe dazu die Krankheitsgeschichten Nr. 113-154 in Walter H., Die sieben Hauptmetalle).²⁶

Exkurs: Zusammenfassende Charakterisierung des Kupfers

Es ist auffällig, dass Kupfer sich im Boden neben der Erz-Form und den silikatischen Bindungen mit organischen Komplexen verbindet. In Pflanzen spielt Kupfer eine besondere Rolle im Aufbau von Eiweiß. In Tieren, und auch im Menschen, ist Kupfer ebenso an den Kernelementen der Lebensträgerschaft beteiligt: So als Zentralatom im Hämocyanin bei den kaltblütigen Tieren, oder als begleitender „Helfer“ für das Eisen in dieser Funktion bei den Warmblütigen. Die als Zentralorgan des Stoffwechsels geltende Leber ist zugleich der zentrale Ort für den Kupferstoffwechsel. Daneben ist Kupfer für die Stärkung des Auto-Immunsystems mit verantwortlich. Alle diese Phänomene zusammen genommen könnte man, wenn man eine „Wesenscharakterisierung“ des Kupfers anstreben wollte, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der „Schutzfunktion“ des Kupfers (s.u.), von Kupfer als „Auto-Immunator“ sprechen. Die sich anschließende Forschungsfrage wäre in diesem Zusammenhang, wie Kupfer auf die Pflanze als nicht Wärme-Wesen ohne einen Blutstoffwechsel wirkt. - Gibt es zum Beispiel eine Art Wärmeorganismus bei der Pflanze? Und ist er wenn, dann durch Kupfer stimulierbar? Hat Kupfer – von außen appliziert – eine Art „Schutzfunktion“ für die Pflanze?

Zu Wesensmerkmalen von Pflanzen

Pflanzen treten weniger als Einzelindividuen in Erscheinung als vielmehr in Verbänden und in unserer Kulturlandschaft als Teil eines mehr oder weniger homogenen Bestandes („Wiese“, „Wald“, „die Rebkultur“). Die „Gräfin von Pymont“ oder die „Goldene Renette“ kennzeichnet die Rosen-, bzw. Apfelsorte, nicht die Einzelpflanze, etc.. Insofern ist in der Regel auch eher ein ganzer Pflanzenbestand als eine Einzelpflanze befallen. Dennoch können einzelne Pflanzenexemplare zum Beispiel andere Resistenzen aufzeigen als ihre Nachbarpflanzen. Dieser Gesichtspunkt ist insofern entscheidend, als wir es bei Reben und Obstbäumen heute in Mitteleuropa mit künstlich vegetativ vermehrten Unterlagen und Edelreisern zu tun haben, d.h. Einzelpflanzen, die zigfach vermehrt in ihren Nachkommen in Erscheinung treten, im Grunde jedoch nichts anderes sind als - bildhaft gesprochen - eine einzige ausgebreitete Einzelpflanze. Das kann durchaus für ganze Regionen und Landstriche gelten. Damit sind zum einen Vorteile verbunden (Gleichförmigkeit und Sicherheit bezüglich bestimmter Eigenschaften), zum anderen kann jedoch gerade dieser Umstand im Falle einer Empfindlichkeit des Ausgangsindividuums zu großen Problemen und Kalamitäten bis hin zum Gesamtausfall der Bestände führen.

Ein zweites Wesensmerkmal von Pflanzen ist, dass sie zur Zeit der Blüte in ihren Blättern einen gewissen Eiweissabbau einleiten, um die Blüte mit löslichen Nährstoffen zu versorgen. Diese Phase ist empfindlich für den Befall von Pilzen, da diese genau von diesen freien Nährstoffen angezogen

²⁵ Schramm H. M.: Heilmittel-Fibel zur anthroposophischen Medizin, Novalis Verlag, CH-Schaffhausen, 1997, S.114

²⁶ Walter H.: Die sieben Hauptmetalle, Natura Verlag, 1999

werden.²⁷

Prinzipielles zu Pflanzenkrankheiten

Im engeren Sinne ist der Krankheitsbegriff für Pflanzen ungeeignet. Es gibt bei Pflanzen keine sogenannten „inneren“ Krankheitsursachen.²⁸ In aller Regel haben wir es, wenn wir von Krankheiten bei Pflanzen sprechen, mit einem von aussen kommenden Befall, sei es von Pilzen, Bakterien, Viren oder Tieren, zu tun. Die Pflanze wird in der Regel für solch einen Befall durch Mangelzustände im Nährstoff-, Licht- oder Wasserhaushalt oder aber auch ein überhöhtes Angebot an wasserlöslichen Nährstoffen im Zellsaft wie Aminosäuren, Zucker, Minerale und Nukleotide empfänglich.²⁹ Ist eine Pflanze im Sinne eines ausgeglichenen Nährstoffhaushaltes gesund, trotz sie in der Regel den so genannten Pflanzenkrankheiten, was in aller Regel auch für das Tier gilt, wobei sich hier Stress, Einsamkeit und andere „psychische“ Faktoren, die beim Menschen in noch ganz anderer Weise Krankheiten bedingend auftreten, auswirken.

Die Rebe

Der Rebbau hat in Mitteleuropa eine mehr als 2000-jährige Tradition. Die Rebe sowie der Weizen stehen wie keine anderen Pflanzen für die Ackerbaukultur des vorderen Orients und später Europas. Die Rebe war, wenngleich nicht Grundnahrungsmittel, so doch „Kulturträger“. In allen Gebieten wo ihr Anbau möglich war, war sie eine Säule der Kultur und auch des ländlichen Lebens. Eine große Sortenvielfalt prägte bis Mitte des 19. Jahrhunderts den Anbau. Erst die im Jahr 1863 aus Nordamerika eingeschleppte Reblaus³⁰ - *Viteus vitifoliae* - vernichtete fast die Hälfte des gesamten mitteleuropäischen Rebbestandes. Diese Entwicklung führte dazu, dass im wesentlichen zwei Reblaus-resistente Unterlagen (*Vitis Riparia* und *Rupestris*) 1878 aus Amerika nach Europa eingeführt wurden und bis heute einen Großteil der Unterlagen bilden.³¹ Mit der Reblausresistenz haben aber auch alle anderen Eigenschaften dieser beiden Unterlagen im europäischen Rebbau Eingang gefunden, die sich auch auf die aufgepropften Edelreiser übertragen (s. Kapitel zum Wesensverständnis von Pflanzen). So vor allem ein mangelhaftes Eisen- und Zink-Aufnahmevermögen³² und gleichzeitig eine Anfälligkeit für den Falschen Mehltau, Peronospora³³ sowie eine verzögerte Eiweissbildung im Blatt.³⁴ Es wird auch über Probleme mit der Kupferversorgung bei bestimmten Unterlagen berichtet.³⁵ Die genannten Eigenschaften, mangelhaftes Mikronährstoffaneignungsvermögen und Peronospora-Anfälligkeit, können bis heute daher Ausgangspunkt für den Therapieansatz sein. So konnte schon Millardet 1881 nachweisen,

²⁷ Duffrenoy in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S. 33

²⁸ Steiner R.: Vortrag 18.5.1910, GA 120 in Selg P.: Das Wesen der Krankheit bei Mensch, Tier und Pflanze, Tagungsdokumentation zum biologisch-dynamischen Obstbau 2002, Goetheanum, Dornach, S. 19

²⁹ Lutzenberger in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S.4

³⁰ Hoffmann G. M. et al.: Lehrbuch der Phytomedizin, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994, S. 295

³¹ Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S. 102 und Schwantes H. O.: Biologie der Pilze, Ulmer Verlag, 1996, S. 324

³² Ciferri in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S. 102

³³ Maxime Cornu, 1873, in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S. 102

³⁴ Carles, 1972, in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 104

³⁵ Carles et al., 1966, in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 103

dass *Peronospora* mit einer Mischung aus Eisensulfat und Gips erfolgreich bekämpft werden kann sowie Dufrenoy 1934, dass eine Zinksulfat-Düngergabe das Risiko der Reissigkrankheit gemindert hat.

Der Falsche Mehltau - *Peronospora*

Der Pilz überdauert den Winter in abgefallenem Reblaub in Form von Dauer- oder Wintersporen. Im Frühjahr keimen die Sporen bei ausreichender Durchnässung des Bodens und einer Tagesmindesttemperatur von 8° C mit einem Keimschlauch aus, an dessen Ende sich eine Sporangie befindet. Weitere Voraussetzungen für einen Befall sind, dass einerseits ausreichend kräftige Regenfälle die Zoosporen auf die Blätter spritzen³⁶, andererseits diese sich durch ein Überangebot an wasserlöslichen Nährstoffen angezogen fühlen und auf der Blattunterseite in die entsprechend geöffneten Spaltöffnungen – die Öffnungsbreite ist wiederum abhängig von der Bodenfeuchtigkeit – hinein wachsen können. Die Infektion und der weitere Krankheitsausbruch, die Sporulation, werden also durch bestimmte klimatische Verhältnisse hervorgerufen, die unter anderem für den Befall relevante Veränderungen im Pflanzenstoffwechsel bewirken, was im Folgenden genauer beschrieben werden soll: Hohe Luftfeuchtigkeit, die naturgemäß vor allem nachts auftritt, verursacht verstärkt den Abbau von Stärke und Eiweiss und somit eine Gehaltserhöhung an Zucker und freien Stickstoff- und Phosphorverbindungen – ein Zustand, der die Keimung von Pilzsporen begünstigt. Auch die Temperatur spielt eine Rolle: Einerseits keimen die Sporen besser, wenn sie zuvor auf 9-10°C abgekühlt werden, andererseits bewirkt eine Abkühlung auch eine Erhöhung des Anteils an Zucker im Vergleich zu ungelöster Stärke sowie der Anteile an löslichem Stickstoff und Phosphor im Pflanzensaft. Dies erklärt dann, warum am frühen Morgen der Befall bevorzugt geschieht: in diesem Zeitraum ist der höchste Lösungsgrad der Stärke und der höchste Abbaugrad des Eiweisses erreicht.³⁷ Daneben spielt auch der Jahreslauf eine Rolle. Kurze Tage begünstigen den Befall, lange Tage (viel Eiweissaufbau) hingegen hemmen ihn.³⁸

Überlegungen zur Behandlung von *Peronospora* an Reben mit Kupfer

Bei der Behandlung von Reben mit amerikanischer Unterlage kann Kupfer gleichzeitig seine dreifache Natur offenbaren: Dem Wirtsorganismus des Pilzes – der Pflanze – kann es lebenssubstanzaufbauend (Eiweiss-synthese aus freien Aminosäuren und Stickstoffverbindungen) zur Seite stehen, während es dem „Schädling“, dem Pilz, die Sporen abtötet. Daneben kann der Wärme- und Lichtimpuls eine Art Schutzfunktion für die Pflanze haben. Insofern könnte man unter den gegebenen Bedingungen - Rebenunterlagen mit mangelhaftem Mikronährstoffaneignungsvermögen und *Peronospora*-Affinität, und Rebbau in tendenziell feuchtem Klima - Kupfer mit seiner dreifach-Natur als das ideale Pflanzenschutzmittel betrachten. - Blicke nicht die Problematik der Kupferanreicherung im Boden. Wie die oben ausgeführten Erläuterungen (s. Absatz „Kupfer im Boden“) zeigen, müssen dazu die Bodenverhältnisse individuell angeschaut werden. Viele Böden weisen noch eine Speicherfähigkeit des durchaus auch bodenbürtig vorhandenen Kupfers auf, bevor Schädigungen des Bodenlebens erwartet werden müssen. Dennoch sollte aus langfristigen Erwägungen heraus, unabhängig von der Beschaffenheit des Bodens, nicht

³⁶ Hofmann, Köpfer, Werner: Ökologischer Weinbau, Ulmer Verlag, 1995, S. 176,177

³⁷ Pantanelli in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 34, 35

³⁸ Gallegly, Walker in Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung; C. F. Müller Verlag, 2. Aufl. 1996, S. 65

mehr Kupfer über den Pflanzenschutz zugeführt werden, als über den Pflanzenertrag jeweils entzogen wird. Netto bleibt nur der Entzug über die Trauben. Das ist Schätzungen zu Folge um 300g/ha und Jahr.

Zwischenfazit

Als erstes Ergebnis der Überlegungen kann festgehalten werden, dass in der beschriebenen Situation Kupfer bis zur Höhe des Pflanzenentzuges eine mögliche und sogar sinnvolle Variante des Pflanzenschutzes darstellt. Ein Total-Verbot von Kupfer erscheint vor diesem Hintergrund nicht sinnvoll.

Schlussbetrachtungen, Forschungsfragen und Denkanstöße

Leitbild für einen zukünftigen Rebbau sollte eine standortangepasste Erzeugung, mit - auch auf die Unterlagen bezogen – Regionalsorten sein. Eine optimale organische, oder besser noch biologisch-dynamische Bewirtschaftung ließe einen mittelfristigen Aufbau von fruchtbarem Boden erwarten, der den Aufschluss aller essentiellen Nährstoffe, auch Mikronährstoffe, durch die Pflanze ermöglichen würde³⁹. Eine Pflanzenschutzbehandlung könnte dann möglicher Weise entfallen oder stark reduziert werden.

Unter den gegebenen Bedingungen – die Bevorzugung bestimmter, nicht so sehr standortangepasster Sorten und den charakterisierten amerikanischen Unterlagen infolge der bestehenden Marktgegebenheiten – sind alle Begleitfaktoren in Richtung Pilzvermeidung zu optimieren:

Alle acker- und pflanzenbaulichen Massnahmen sind so anzuwenden, dass sie dem Pilzbefall entgegen wirken. Dazu gehört die Ermöglichung eines ausgeglichenen Stoffwechsels der Rebe durch ausgeglichene Düngung, Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln und der biologisch-dynamischen Präparate. Gleiches gilt für die Erhöhung der mikrobiologischen Aktivität im Boden, die durch Kompostgaben, Kompostteespritzungen und ebenso die Anwendung der biologisch-dynamischen Präparate ermöglicht wird. Letzteres kann eine höhere Populationsdichte an mikrobiellen Antagonisten bedingen, die auskeimende Oosporen abtöten. Des weiteren ist auf Bodenabdeckung zu achten, um Spritzwasser abzufangen, und das Schaffen einer luftigen, schnell abtrocknenden Laubwand.⁴⁰ Bezüglich der biologisch-dynamischen Präparate betont Wistinghausen die Wichtigkeit der Verwendung aller Präparate, d.h. Feldspritz- und Düngezusatzpräparate, um die positive Wirkung, die sich aus der gegenseitigen Förderung bzw. Ergänzung der einzelnen Präparate ergibt, erzielen zu können.⁴¹ **Erst in Ergänzung dazu sind Pflanzenschutzmittelgaben, wie Kupfer, zu empfehlen.**

Der Frage, ob eine Kategorisierung von Böden in Cu-Bodengehaltsbereiche in unbelastete, tolerierbare und belastete Bodenzustände Sinn macht, muss in Anbetracht der in der Praxis unterschiedlich vorliegenden Bodenverhältnisse und Speicherkapazitäten und der geringen definitiven Aussagemöglichkeit dazu, nachgegangen werden. Bei Kupfergehalten im Boden von 40-50ppm werden die Stickstoff fixierenden Knöllchenbakterien als ein Indikator noch nicht beeinträchtigt.⁴² Wichtig wäre es deshalb darauf zu achten, dass dieser Wert auf die Dauer nicht

³⁹ Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science, Vol 296, 31.May 2002

⁴⁰ www.oekolandbau.de, 10.7.2003

⁴¹ v. Wistinghausen E.: Düngung und biologisch-dynamische Präparate, Verlag Lebendige Erde, Darmstadt, 1984, S. 96

⁴² Referat af rapport om brug af kobber i landbruget fra Miljøgruppen på Landbrugets Rådgivningscenter, 1998

wesentlich überschritten wird. Von anderen Autoren wird eine Faustzahl von 100 mg Cu pro kg lufttrockener Boden angegeben, die nicht überschritten werden soll⁴³.

Der EU-Grenzwert für Landwirtschaftliche Nutzfläche liegt bei 150 mg/kg. Zwischen 50 und 150 mg scheint also die zwar vielleicht schon kritische, aber noch tolerierbare Bandbreite zu liegen.

Im Apfelbau zeigt ein über fünf Jahre andauernder Versuch in Dänemark, dass sich mit einer Aufwandmenge von 750g Cu/ha/Jahr der Cu-Gehalt in den obersten 5cm Boden mit 2ppm/Jahr steigert, in den tieferen Schichten mit 1ppm/Jahr.⁴⁴ Jede Aufwandmenge, die über dem Entzug der Pflanze liegt, führt also zu einer Bodenakkumulation. Diese muss nicht sofort kritisch sein. Es zeigt sich aber, dass nach Möglichkeiten für die Reduzierung des Kupfereinsatzes auf das Maß des natürlichen Entzuges gesucht werden muss.

Effiziente Kupferanwendung

Insbesondere bei *Peronospora*-Befall kann das Erkennen der optimalen Anwendungszeitpunkte von Cu-Präparaten, Ergänzungsmitteln sowie Pflanzenstärkungsmitteln zu einer bedeutenden Reduktion der Aufwandmengen der kurativen Behandlungsmittel führen. Die Witterungs- und Infektionsbedingungen für *Peronospora* können mittels eines Thermohygrographen und Blattbenetzungsschreibers kontrolliert werden.⁴⁵ Anwendungsbestimmungen hinsichtlich Verlustminderung und Abstandsregelungen sind darüber hinaus zu beachten.

Erfahrungen in Obst- und Weinbau zeigen, dass mit sehr reduzierten Kupfermengen gute Resultate im Pflanzenschutz erzielt werden können. Randolph Kauer, Professor für Weinbau und Getränketechnologie an der Fachhochschule in Geisenheim erklärt, dass mit Kupfermengen, von denen man früher meinte, sie hätten keine Wirkung, heute sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Mit Mengen von 100-250 g Cu/ha und Behandlung können auch bei mehreren Behandlungen pro Jahr die Gesamt-Cu-Aufwendungen unter 1 kg Cu/ha und Jahr gehalten werden.⁴⁶

Christine Bernard, Bundesvorsitzende von Ecovin, gibt eine Aufwandmenge von 500 g Cu/ha als wirksam an.⁴⁷ **Anscheinend kann mit häufigeren Spritzungen mit jeweils geringer Aufwandmenge die Gesamtaufwandmenge stark reduziert werden. Dieser Faktor muss allerdings anhand von Wirtschaftlichkeits- und Arbeitszeitargumenten auf seine Realisierbarkeit hin betrachtet werden.**

Welche Kupferverbindungen sind vertretbar?

Laut EU-VO 2092/91⁴⁸ darf Kupfer im Biologischen Landbau in Form von Kupferhydroxid, Kupferoxychlorid, Kupfersulfat und Kupferoxid angewendet werden. Seit jeher – die „Bordeaux-Brühe“, Kupfersulfat, wird seit 1885 im Pflanzenschutz angewendet⁴⁹ - wird das in der Natur vorkommende Kupfersulfat verwendet. Kupferoxychlorid ist eine Cu-Verbindung, die in der Natur nicht vorkommt. Chlor, das in vielen Pflanzenschutzmitteln enthalten ist, wirkt dem Kupfer entgegengesetzt, es hemmt den Eiweissaufbau und fördert seinen Abbau, wodurch eine Anreicherung von löslichen N-Verbindungen bei Pestizidbehandlungen entsteht, was - wie auch oben erwähnt - die gesteigerte Anfälligkeit der Pflanze mit hervorruft.⁵⁰ Aus diesen Gründen ist

⁴³ Koepf; Schaumann, Haccius: Biologisch-Dynamische Landwirtschaft, Ulmer Verlag, 1996, S. 41

⁴⁴ Korsgård M. Notat vedr. Kobber til bekæmpelse af æbleskurv, 1999

⁴⁵ Hofmann, Köpfer, Werner: Ökologischer Weinbau, Ulmer Verlag, 1995, S. 181

⁴⁶ Kauer R, „Bio-Special“, 1998

⁴⁷ „natur & kosmos“, september 2001

⁴⁸ EU-VO 2092/91, geändert gemäss VO 473/02 vom 15.3.02; aus www.boku.ac.at vom 15.7.2003, S. 70

⁴⁹ Hoffmann G. M. et al.: Lehrbuch der Phytomedizin, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994, S. 427

⁵⁰ Chaboussou: Pflanzengesundheit und ihre Beeinträchtigung, Stiftung für Ökologie und Landbau, 1996, S.68

Kupferoxychlorid als Pflanzenschutzmittel nicht zu empfehlen.⁵¹

Forschungsprojekte zu Kupfer

Laufende Versuche zu Ersatz- und Ergänzungsmitteln zu Kupfer

Es laufen zur Zeit viele Untersuchungen mit Mitteln als Alternativen oder Ergänzung zu Kupfer, unter anderem eine Reihe geförderter Projekte durch das Bundesprogramm Öko-Landbau (BÖL) in Deutschland (siehe www.oekolandbau.de/Forschung). Diese bieten z.T. sowohl im Labor als auch im Freiland eine gewisse Wirkung, allerdings ist der Wirkungsgrad meist zu niedrig und die Frage nach Nebenwirkungen stellt sich bei hohen Konzentrationen oder guter Wirksamkeit auch hier.⁵²

Durch eine zeitlich versetzte Kombination von Kupfer- und Tonerdepräparaten (z.B. Myco-Sin) kann die Gesamtkupferaufwandsmenge bei Beachtung der Witterungs- und Infektionsbedingungen gesenkt werden. Die Tonerdepräparate selbst stellen allerdings aufgrund ihrer geringeren Pflanzenverträglichkeit keine Endlösung dar. Einen Beitrag zur Kupferreduzierung leisten auch Pflanzenstärkungsmittel wie z.B. die aluminiumhaltigen Gesteinsmehle.⁵³

Gute Ergebnisse haben Anwendungen mit Natriumhydrogencarbonat (Steinhauers Mehлтаuschreck) und Kaliumhydrogencarbonat geliefert, allerdings nur in Kombination mit Kupfer.⁵⁴

Homöopathie

Der biologisch-dynamisch wirtschaftende Winzer Nicolas Joly („Beseelter Wein“) beschreibt einen Versuch, bei dem mit Hilfe einer homöopathischen Kupfersulfatlösung eine mit Kupfer vergiftete Pflanze dabei unterstützt wird, ihr angereichertes Kupfer wieder auszuscheiden.⁵⁵

Daneben ist hier auf die wissenschaftliche Arbeit von Andrea Emde hinzuweisen, die sich mit der „Homöopathie für Pflanzen“ befasst.⁵⁶

Vegetabilisierung von Kupfer

In den Jahren 1976 bis 1994 liefen am Institut der Naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum Versuche mit Vegetabilisierung (praktiziertes Verfahren der Heilmittelherstellung bei der Fa. Weleda) von Kupfer durch *Melissa officinalis*. Die Versuche sind in dieser Hinsicht noch auszuwerten.

Denkanstöße

Fasst man die Eigenschaften des Kupfers als „Auto-Immunator“ ins Auge, so müssten es gerade diese Eigenschaften sein, die einen bei der Suche nach Alternativen leiten.

⁵¹ Clostermann R.: Kupfer und Schwefel im Obstbau, Tagungsdokumentation zum biologisch-dynamischen Obstbau 2002, Goetheanum, Dornach, S. 46

⁵² Umweltbundesamt Wien: Texte 68/2003, S. 100

⁵³ Hofmann in Umweltbundesamt Wien: Texte 68/2003, S. 95

⁵⁴ Kauer R. et al.: Kupferreduzierung im ökologischen Weinbau in Deutschland – Feldversuche und praktische Erfahrungen, in 10th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems on Organic Fruit-Growing and Viticulture, Weinsberg 2002.

⁵⁵ Joly N.: Beseelter Wein, Hallwag Verlag, 1998, S. 110

⁵⁶ Emde A.: Homöopathie für Pflanzen, Fachverlag Hannelore Snoek, 1995

Ausblick

Vor dem Hintergrund der Kupferverbotsdebatte, aber auch der differenzierten Betrachtung des Kupfers und seiner Eigenschaften, ist von der aktuellen Rechtslage ausgehend an eine reduzierte Kupferanwendungsmenge unter Einbeziehung der existierenden Ergänzungsmassnahmen zu denken. Parallel dazu müsste die Beratungstätigkeit im ökologischen Weinbau intensiviert werden, um die bestehenden Kenntnisse, insbesondere im Hinblick auf vorbeugende Massnahmen sowie effizientere Bekämpfungsmassnahmen in einem bedarfsgerechten Ausmass zu verbreiten. Richtungsweisend und zur konsequenten Weiterentwicklung der aktuellen Forschungsergebnisse ist einer verstärkten Forschungstätigkeit ein bedeutender Stellenwert einzuräumen.

Zusammenfassung

Kupfer ist aufgrund der einseitigen Betrachtung seines Schwermetallcharakters als fungizides Pflanzenschutzmittel im biologischen Landbau in Verruf geraten. Eine nähere Betrachtung zeigt jedoch, dass Kupfer in allen Lebensbereichen vorhanden und sogar für viele Lebensprozesse essentiell ist. Seine Wirkung ist nur insoweit fungizid, als er direkt die Pilzsporen abtötet. Darüberhinaus wirkt er dem Pilzbefall entgegen, indem er den Eiweissstoffwechsel in der Pflanze fördert. Als drittes Charakteristikum des Kupfers ist seine „Schutzfunktion“ in den Raum zu stellen. Die Eigenschaften des Kupfers sind nur schwer oder gar nicht durch andere Mittel zu ersetzen. Eine gute Ergänzung hinsichtlich der Wirkung stellt zum Beispiel der Schwefel dar, weshalb Kupfersulfat-Produkten vor Kupferoxichlorid -Produkten der Vorzug zu geben ist. Bis in Höhen des Entzugs von Kupfer durch die Ernte von z.B. 300 g/ha und Jahr ist der Kupfereinsatz als unproblematisch anzusehen. In der Regel sind Kupfergehalte von 100 mg/kg lufttrockener Boden noch tolerierbar. Allerdings zeigen Untersuchungen schon bei doppelter Aufwandmenge über dem Entzug Akkumulationseffekte an. Es ist verstärkt an Cu-Minimierungsansätzen zu forschen, mit dem Ziel, der Kupferakkumulation in den Böden vorzubeugen. Bei der Suche danach kann der Gesichtspunkt der Eigenschaft des Kupfers als „Auto-Immunator“, der in der vorliegenden Studie versucht wurde heraus zu arbeiten, eine Hilfestellung sein.

Wir danken die Software Stiftung für die Unterstützung dieses Projektes