

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem**

Heft 237

November 1987



**Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten  
von „Grünsalz“ zur Vorbeugung und Behebung  
der Chlorose im Weinbau**

Dr. Horst Diedrich Mohr

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Weinbau,  
Bernkastel-Kues

Berlin 1987

*Herausgegeben  
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem*

Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg  
Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61

ISSN 0067-5849

ISBN 3-489-23700-5

Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens, das vom Bundesministerium des Inneren (Umweltbundesamt) finanziert wurde.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Mohr, Horst Diederich:**

Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten von „Grün-salz“ zur Vorbeugung und Behebung der Chlorose im Weinbau / Horst Diederich Mohr. Hrsg. von d. Biolog. Bundesanst. für Land- u. Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. – Berlin; Hamburg: Parey, [in Komm.] 1987.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 237)  
ISBN 3-489-23700-5

NE: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
<Berlin, West; Braunschweig>:  
Mitteilungen aus der . . .

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funk-sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, die für jedes vervielfältigte Blatt 0,40 DM beträgt.

1987 Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61.  
Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, 1000 Berlin 62.

Inhaltsangabe	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 Die Chlorose der Reben	5
1.1.1 Charakterisierung; Krankheitsbild; Auswirkungen auf den Ertrag; Verbreitung	5
1.1.2 Ursachen der Chlorose	6
1.1.3 Maßnahmen zur Prophylaxe und Therapie	10
1.2 Grünsalz, ein problematisches Nebenprodukt der Titan-dioxid-Herstellung. - Geschichtlicher Rückblick	13
1.3 Problemstellung und Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens	14
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>15</b>
2.1 Zusammensetzung des Grünsalzes	15
2.2 Böden für Labor- und Gewächshausversuche	15
2.3 Böden der Feldversuche	16
2.4 Chlorose-Boniturschema	19
2.5 Gefäßversuche	19
2.6 Probenahme und Probenaufbereitung	19
2.7 Extraktions- und Analysenmethoden	20
2.8 Bezugsgrößen. Statistische Absicherung	20
<b>3. Grundlegende Untersuchungen zur Wirkung von Grünsalz auf Boden, Grundwasser und Pflanze</b>	<b>21</b>
3.1 Beeinflussung der bodenphysikalischen Eigenschaften	21
3.2 Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus Böden nach Grünsalz-Düngung (Kleinlysimeter-Versuch)	22
3.3 Einfluß steigender Grünsalzdüngung zu Kalkböden auf die Nährstofflöslichkeit (Untersuchungen mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration)	35
3.4 Orientierende Gewächshaus- und Freilandversuche	37
3.4.1 Vegetationsversuche im Gewächshaus	37
3.4.1.1 Gefäßversuche	37
3.4.1.2 Wurzelbeobachtungskästen	41
3.4.1.3 Kapitel-Zusammenfassung	43

3.4.2	Feldversuche	49
3.4.2.1	Einbringung von Grünsalz in den Wurzelbereich während der Vegetationsperiode	49
3.4.2.2	Feldversuche auf Chlorosestandorten	50
4.	Einfluß von Grünsalz auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben (Vegetationsversuche im Gewächshaus)	56
4.1	Einfluß verschiedener Eisenverbindungen auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben aus Nährlösung	56
4.1.1	Quarzsandkultur-Versuche	56
4.1.2	Hydrokulturversuche	59
4.1.3	Kapitel-Zusammenfassung	63
4.2	Einfluß von verschiedenen Eisendüngern, Torf, Tresterkompost und Rindenkompost auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben aus Kalkboden	65
4.2.1	Kapitel-Zusammenfassung	69
5.	Feldversuche mit der Grünsalz-Depotdüngung	72
5.1	Technik der Depotdüngung	72
5.2	Versuchsflächen	74
5.3	Schädigung einer Rebanlage durch Grünsalz	76
5.4	Bonitur der Chlorosestärke	77
5.5	Nährstoffgehalt der Rebblätter und Trauben	81
5.6	Ertragsermittlung	82
5.7	Nachhaltigkeit der Grünsalzdüngung. Untersuchung des Depotstreifens	83
5.8	Kapitel-Zusammenfassung	88
6.	Diskussion	88
6.1	Entwicklung des Depotkonzepts	88
6.2	Grünsalz-Düngungsversuche	90
6.3	Auswirkungen der Grünsalzdüngung auf Boden und Umwelt	92
6.4	Abschließende Bewertung der Grünsalz-Depotdüngung	93
7.	Zusammenfassung	94
	Summary	97
8.	Literatur	99

## 1. Einleitung

### 1.1 Die Chlorose der Reben

#### 1.1.1 Charakterisierung; Krankheitsbild; Auswirkungen auf den Ertrag; Verbreitung

Die Chlorose (Gelbsucht, Bleichsucht) ist eine der ältesten Reberkrankheiten. Sie war schon in der Römerzeit bekannt (RUCKENBAUER 1981). Wir verbinden heute mit dem Begriff Chlorose eine Krankheit mit einem bestimmten Ursachenkomplex. Das war jedoch nicht immer so, wie aus der Definition von MAIER (1942) hervorgeht: "Heute bezeichnen wir als Chlorose alle nach gelb oder weiß hin tendierenden Abweichungen von der normalen grünen Farbe der Pflanze... Unter Chlorose verstehen wir demnach ein Krankheitssymptom, das durch die verschiedensten Ursachen ausgelöst werden kann." Als solche Ursachen nennt er u.a.: erbliche Panaschüren; durch Viren, Bakterien, Pilze oder tierische Schädlinge ausgelöste Chlorosesymptome; Schlechtwetterchlorose; Frostchlorose; Chlorose infolge ungünstiger Bodenverhältnisse; Kalkchlorose; Alkalichlorose; Chlorose infolge Nährstoffmangel- oder überschuss; Chlorose durch Wasserüberschuß; Durstchlorose. Dieser bereits umfangreichen Liste gesellten sich später hinzu: durch Herbizide oder Schwermetalle ausgelöste Chlorose (GÄRTEL 1965; MOHR 1985); Verdichtungs- oder Bodenstrukturchlorose; Schwächechlorose (KANNENBERG 1984). Diese weite Fassung des Chlorosebegriffs hat sich in der Folgezeit eher als hinderlich bei der Ermittlung der Krankheitsursachen und der Entwicklung von Gegenmaßnahmen erwiesen (SCHRADER 1970). Eine stärkere Differenzierung war daher nötig. GÄRTEL stellte 1965 fest: "Der Begriff Chlorose, ohne Beiwort, wird in allen Teilen der Welt Vergilbungen vorbehalten, die durch Störungen der Eisenversorgung verursacht werden". Um diese Chlorose geht es in der vorliegenden Arbeit.

Die ersten Anzeichen der Krankheit werden vor allem in kühlen, feuchten Jahren, und zwar i.d.R. erst einige Zeit nach dem Austrieb, sichtbar. Oft ist die Symptomausprägung zur Zeit der Blüte besonders deutlich, und zwar sind die jüngsten Blätter deutlich heller als ihre Vorgänger. Die Flächen zwischen den Blattrippen, die sog. Interkostalfelder, sind hellgrün bis zitronengelb gefärbt, die Blattrippen dagegen meist grün. Erst bei starker Chlorose bleichen auch die feineren Rippen aus. Die Blattfläche ist gegenüber gesunden Blättern reduziert, die erkrankten Blätter sind dünner. Im Endstadium der Krankheit vergilben sie und werden spröde, wobei die Blattränder oft nekrotisch werden und sich nach oben einrollen. In diesem Stadium fallen die Blätter oft ab. Die Ranken sind im Gegensatz zu den Blättern in normaler Größe ausgebildet (Gärtel 1965). Die Blüte verläuft bei schwach chlorotischen Stöcken noch normal, bei stärker erkrankten verrieseln dagegen die Blütenstände (Gescheine) bzw. jungen Trauben. Da auch die Triebe im Wuchs zurückbleiben und das Holz nicht völlig ausreift, wirken die Schäden in die folgende Vegetationsperiode hinein. In gefährdeten Lagen kann die Chlorose mehrere Jahre hintereinander an denselben Stöcken auftreten, so daß diese schließlich absterben. Solche Areale (oft sind es Senken, Mulden und dergl.) kann man an den zahlreichen nachgepflanzten Rebstöcken erkennen. WILLSTÄTTER und STOLL (1918, zit.n. GÄRTEL 1965), haben nachgewiesen, daß die Leistung der erkrankten Pflanzen

schneller abnimmt als ihr Chlorophyllgehalt. SCHEU (1950) schätzte den Ertragsausfall bei mittelstarker Ausprägung der Rebchlorose auf 70%.

Nach GÄRTEL (1965) ist die Chlorose in allen Kontinenten weit verbreitet. Am häufigsten findet man sie auf Kalkböden ("Kalkchlorose", "Calciose"). Eine Untersuchung von MOLZ (1907, zit.n. SCHRADER 1970) in 80 rheinhessischen Weinbaugemarkungen ergab: Die Chlorose trat vor allem auf schweren, verdichteten Böden mit hohem Kalkgehalt auf. Schlagregen, der die Bodenoberfläche verschlammte und die Bodendurchlüftung behinderte, ferner Bodenbearbeitung bei nassem Wetter sowie Düngemittel, die ein Verkrusten der Bodenoberfläche bewirkten (NaNO<sub>3</sub>, Kainit u.a.) förderten die Chlorose. Nach BUCHER (1972) findet man die Chlorose im fränkischen Weinbaugebiet häufig auf Böden, die auf dem Unteren Muschelkalk gebildet worden sind und Gehalte von 20% und mehr CaCO<sub>3</sub> aufweisen. Oft tritt sie jedoch auch auf schweren, dichtlagernden Tonböden auf, die wesentlich weniger Kalk enthalten oder sogar carbonatfrei sind. Charakteristisch ist jedoch nach BUCHER die Erscheinung, daß die Chlorose auf schwach sauren und sauren Böden kaum oder überhaupt nicht auftritt. In eigenen Untersuchungen in Flachlagen der Mittleren Mosel (Gemarkungen Lieser, Kesten, Wintrich, Minheim) wurde z.T. starke Chlorose an den Rebsorten Huxel und Müller-Thurgau beobachtet. Die Böden waren schwach sauer bis neutral (pH 5,4 - 7,3). Sie waren entweder unter einer hohen Mistauflage "begraben" oder in feuchtem Zustand mit Schleppern befahren worden.

Seit den Untersuchungen von MOLZ zu Beginn dieses Jahrhunderts hat sich die Chlorose in den deutschen Weinbaugebieten stärker ausgebreitet. Als Ursachen sind nach SCHRADER (1970) anzusehen:

1. Starke Erweiterung des Pfropfrebenanbaus (MAIER stellte schon 1942 fest, daß seit Verwendung von Amerikanerreben als Unterlagen Chloroseschäden einen großen Umfang angenommen hatten).
2. Mechanisierung der Bodenbearbeitung (Zunahme von Bodenverdichtungen).
3. Einseitige Wirtschaftsweise im Weinbau (Monokultur ohne Ausgleich durch Fruchtwechsel).

Damit sind bereits einige möglicherweise Chlorose-auslösende Faktoren genannt. Im folgenden Kapitel soll hierauf näher eingegangen werden.

#### 1.1.2 Ursachen der Chlorose

GRIS (zit.n.GÄRTEL 1965) konnte 1843 zeigen, daß Blätter chlorotischer Pflanzen nach dem Bestreichen mit Eisensulfatlösung wieder ergrünten. MAZÉ und EVENS (1929, zit.n. MAIER 1942) konnten chlorotische Gräser durch Besprengen mit einer 0,01%igen Eisensulfatlösung heilen. Damit waren Hinweise, daß es sich bei der Chlorose um eine Störung der Eisenversorgung handelt, gegeben. Welcher Art diese Störung ist, konnte jedoch trotz jahrzehntelanger weltweiter Forschung bis heute nicht völlig geklärt werden. Eine Untersuchung chloroseanfälliger Weinberge durch GÄRTEL (1965) ergab Eisengehalte im Boden zwischen 1 und 6%. Da sie nicht niedriger als in gesunden Weinbergen waren, kann von einem absoluten Eisenmangel nicht die Rede sein. Offenbar liegt das Eisen im Boden in nicht pflanzenverfügbarer Form vor oder wird in der Pflanze selbst

inaktiviert. Welche dieser Vorstellungen zutrifft, bleibt im folgenden zu klären.

Eisen kommt im Boden in verschiedenen Oxidationsstufen (zwei-, dreiwertig) und Verbindungen (Oxide, Oxidhydrate, Hydroxide u.a.) mit je nach Reaktion und Redoxpotential unterschiedlicher Löslichkeit vor. In gut durchlüfteten Kalkböden ist die Eisenverfügbarkeit meist gering, so daß die Gefahr einer Eisen-Unterversorgung der Pflanze besteht. Wenn unsere Rebe auf solchen Böden normalerweise nicht chlorotisch sind, kann man daraus schließen, daß sie die Bedingungen in der wurzelnahen Bodenzone (Rhizosphäre) durch Ausscheidung von  $H^+$ , reduzierenden Verbindungen und Chelatoren so zu beeinflussen vermögen, daß sie genügend Eisen mobilisieren und aufnehmen können. Zur Auslösung der Chlorose müssen daher meist andere Faktoren hinzukommen. Diese haben ihren Ursprung vor allem in ungünstigen bodenphysikalischen Verhältnissen.

MOLZ hatte bereits 1907 festgestellt, daß die Chlorose bevorzugt auf schweren, verdichteten Kalkböden auftrat. Bodenverdichtungen können auf verschiedene Weise, z.B. durch Verlagerung von Tonteilchen im Bodenprofil (Einlagerungsverdichtung) oder durch Sackung entstehen. Auch die Bodenbearbeitung kann zu Verdichtungen führen. Diese Gefahr ist angesichts immer schwererer Schlepper und dem zunehmenden Einsatz von Traubenvollerntern in den letzten Jahren größer geworden. Man kann aber nicht alle Bodenverdichtungen darauf zurückführen. Wie sich nämlich Winzer erinnern können, waren manche Weinbergsareale schon chlorotisch, als noch mit dem Pferd gepflügt wurde. Begünstigt wird die Chlorose weiterhin durch das Verschlämmen der Bodenoberfläche, wie es besonders auf Lößböden nach stärkeren Niederschlägen eintritt, sowie durch Verschmieren des feuchten Bodens (durch Maschinen, aber z.B. auch durch das Durchziehen eines Spritzschlauchs durch die Rebzeilen, s. SCHRADER (1970).

Zu fragen ist, welchen Einfluß die Verdichtungen auf Wachstum und Funktion der Rebwurzel, insbesondere ihre Eisenaufnahme, haben. Zunächst ist festzustellen, daß mangelhafter Gasaustausch eine unzureichende Sauerstoffversorgung und eine Anreicherung von  $CO_2$ , bei schweren Beeinträchtigungen auch von Äthylen,  $NH_3$ ,  $H_2S$  und anderen Gasen im Boden verursacht. Versuche, die Chlorose experimentell durch Sauerstoffmangel im Wurzelbereich auszulösen, scheiterten jedoch (s. bei GÄRTEL 1965). Sauerstoffmangel bzw.  $CO_2$ -Überschuß im Wurzelbereich dürfte zwar das Wurzelwachstum hemmen, aber nicht unmittelbar Chlorose hervorrufen (PERRET 1979). Ähnliches dürfte für den Schwefelwasserstoff gelten. Zwar maß SCHOLL (1979) diesem schweren Wurzelgift eine Bedeutung für die Entstehung der Chlorose bei, in eigenen Untersuchungen auf Muschelkalkböden der Oberen Mosel konnte aber unter chlorotischen Reben in 20 - 80 cm Tiefe kein  $H_2S$  nachgewiesen werden. Ob Äthylen oder auch Wurzelpilze, die von PERRET und KOBLET (1979) in die Diskussion gebracht wurden, unmittelbar Chlorose auslösen, ist fraglich. Die Bedeutung aller genannten Faktoren scheint eher darin zu liegen, daß sie Wachstum und Funktion der Wurzeln beeinträchtigen oder sie sogar abtöten. Daß das Wurzelwachstum chlorotischer Pflanzen tatsächlich deutlich geschwächt ist, konnte BOGDANOVA (1962, zit.n. WELLER 1965) bei Apfelbäumen zeigen.

Daß  $\text{CO}_2$  nicht unmittelbar Chlorose auslöst, wurde bereits festgestellt. Es setzt sich jedoch im Boden gemäß folgenden Reaktionsgleichungen um:



$\text{H}_2\text{CO}_3$  dissoziiert um so stärker zu  $\text{H}^+$  und  $\text{HCO}_3^-$  (Bicarbonat), je höher die  $\text{CO}_2$ -Konzentration und je geringer die  $\text{H}^+$ -Konzentration ist. Mit Kalk reagiert  $\text{H}_2\text{CO}_3$  unter Bildung von Ca-Ionen und Bicarbonat, und zwar um so stärker, je höher die  $\text{CO}_2$ -Konzentration ist. Die Bildung des Bikarbonats ist im Zusammenhang mit der Chlorose von großer Bedeutung. SAGLIO (1969) konnte in Wasserkultur durch Zugabe von Bikarbonat zur Nährlösung Chlorose bei Reben auslösen. HARLEY und LINDNER (zit.n. GÄRTEL 1965) stellten 1945 fest, daß durch die Verwendung bikarbonathaltigen Quellwassers (200 mg  $\text{HCO}_3^-/1$ ) zur Bewässerung von Apfel- und Birnenplantagen auf Carbonatböden Chlorose hervorgerufen wurde. Auch BOXMA (1972) fand bei Obstbäumen eine Beziehung zwischen dem  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalt im Boden und dem Auftreten der Chlorose. KOLESCH (1985) konnte in Gefäßversuchen durch Zugabe von 300 bzw. 500 ppm Bikarbonat zu Kalkboden Chlorose bei der anfälligen Unterlage COUDERC 3309 auslösen. Die Frage ist, auf welche Weise Bikarbonat Chlorose auslöst. Folgende beiden Theorien versuchen eine Antwort zu geben:

A) Bikarbonat wirkt indirekt, d.h., bei einem  $\text{CO}_2$ -Stau im Boden kommt es nach den Gleichungen (1) und (2) zur Bildung von  $\text{H}^+$  und  $\text{HCO}_3^-$ , so daß das pH des Bodens sinkt. Dadurch soll eine erhöhte Phosphatverfügbarkeit bewirkt werden, da Ca-Phosphat bei pH 5,5 - 6 ins Löslichkeitsoptimum kommt. Gleichzeitig bildet sich durch Reduktion dreiwertigen Eisens vermehrt  $\text{Fe}^{2+}$ , das an der Wurzeloberfläche, aber auch in den Gefäßen der Pflanze als Eisenphosphat ausfällt, wodurch es zu Eisenmangelerscheinungen kommt (GÄRTEL 1965). Zur Stützung dieser Theorie wird auf die in chlorotischen Rebblättern gefundenen erhöhten P-Gehalte bzw. auf das erweiterte P:Fe-Verhältnis hingewiesen (GÄRTEL 1965; BUCHER 1972; SCHOLL 1979). Auch konnte von verschiedenen Versuchsanstellern Chlorose durch Zusatz von Phosphat zur Nährlösung oder zum Boden induziert werden (s. bei GÄRTEL 1965; MALISSIOVAS 1980).

B) Nach einer anderen Vorstellung wirkt Bikarbonat direkt chloroseauslösend. Schon PARSCHE (1940, zit.n. MAIER 1942) vermutete, daß bei Lupinen Eisen durch eine Alkalisierung der Gewebesäfte (hervorgerufen durch Ammoniak) inaktiviert werden könne. Auch MENGEL et al. (1984) waren der Meinung, daß eine Alkalisierung des Zellsaftes, hervorgerufen durch  $\text{HCO}_3^-$ , zur Inaktivierung von Fe im Blatt führt. BÜBL (1981) konnte nachweisen, daß Bicarbonat in die Rebe aufgenommen wird. KOLESCH (1985) fand nach Bikarbonat-Ernährung einen Anstieg des pH im Cytoplasma von Rebblättern. Er führte die Chlorose auf eine Alkalisierung der Rhizosphäre und des Cytoplasmas durch Bikarbonat und eine dadurch bedingte Störung der Eisenreduktionsprozesse in Wurzel und Blatt zurück. Nach Untersuchungen von MENGEL und BÜBL (1983) war der Eisengehalt des gesamten Blattes bei chlorotischen Rebblättern zwar meist höher als bei grünen, was mit Befunden anderer Versuchsansteller (GÄRTEL 1965; SCHOLL 1979) übereinstimmt, die Eisengehalte der Zellen in den Interkostalfeldern waren bei chlorotischen Blättern jedoch niedriger als bei grünen. Dieses Phänomen



kann mit einer Hemmung des Fe-Transports aus den Blattadern in das benachbarte Gewebe durch Bikarbonat erklärt werden. Die unterschiedliche Chloroseempfindlichkeit verschiedener Pflanzen und Sorten wurde hauptsächlich mit ihrer unterschiedlichen Fähigkeit,  $\text{HCO}_3^-$  durch Ausscheidung von  $\text{H}^+$  gemäß Gleichung (2) zu neutralisieren, erklärt (MENGEL et al. 1979). Die erhöhten P-Gehalte chlorotischer Blätter werden als Folge, nicht als Ursache der Chlorose angesehen, da vielfach keine eindeutige Beziehung zwischen der Chlorose und dem Phosphatgehalt des Bodens gefunden wurde (SCHOLL 1979; MENGEL et al. 1979, 1984; MÜLLNER 1979; REDL und LIEBHARD 1981; KOLESCH 1985). Es gibt aber Indizien dafür, daß P in Kombination mit Bikarbonat Chlorose auslöst (BOOS et al. 1982; KOLESCH 1985).

Trotz unverkennbarer Fortschritte in den letzten Jahren kann von einer allseits befriedigenden Erklärung des Krankheitssyndroms Chlorose keine Rede sein. Teilweise (z.B. bezüglich der Rolle des Phosphors) sind die Auffassungen noch stark divergierend. Weitere Gesichtspunkte, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, sind u.a.: Auch  $\text{NO}_3^-$  ist in der Lage, allein oder in Verbindung mit Bikarbonat Chlorose auszulösen, da es die Alkalisierung des Zellsaftes fördert (s. bei KOLESCH 1985). Der Gehalt eines Bodens an "aktivem" Kalk kann zur Charakterisierung seiner Chloroseneigung herangezogen werden.  $\text{Ca}^{2+}$  entsteht nach Gleichung (3) gemeinsam mit  $\text{HCO}_3^-$ . Wieweit  $\text{Ca}^{2+}$  als Antagonist von  $\text{Fe}^{2+}$  zur Entstehung der Chlorose beiträgt, ist nicht eindeutig geklärt. Ähnliches gilt z.B. für die Rolle des Kaliums, dem manche sogar eine Chlorose-heilende Wirkung zuschreiben (s. bei SCHALLER 1983). Eine Konkurrenzwirkung wurde für Mn und Zn nachgewiesen. SCHOLZ (1934, zit.n. MAIER 1942) stellte fest, daß Mangangaben bei gleichzeitigem Eisenmangel die Chlorose von Lupinen verschärften. BOOSS et al. (1982) fanden in chlorotischen Rebblättern einen überdurchschnittlichen Anstieg von Mn und Zn, die im Vergleich zu Fe leichter in 0,5 n HCl löslich waren. KOLESCH (1985) fand dagegen keinen eindeutigen Bezug des 0,5 n HCl-löslichen Eisens zur Stärke der Chlorose. Nach GÄRTEL (1965) kann bei einer Chlorose auch gleichzeitig ein Mn-, Zn- oder B-Mangel herrschen. Wenn bisher festgestellt wurde, daß chlorotische Rebblätter einen gegenüber grünen Blättern erhöhten Eisengehalt haben, so scheint dies vor allem auf stärker chlorotische Blätter zuzutreffen. Schwach chlorotische Blätter haben nach Untersuchungen von SCHOLL (1979) und BOOSS et al. (1982) niedrigere Gehalte an Fe, Mn und Cu als grüne. GÄRTEL (1965) und KOLESCH (1985) fanden allerdings auch in schwach chlorotischen Rebblättern erhöhte Eisengehalte. VENKATRAJU und MARSCHNER (1981) konnten zeigen, daß typische Eisenstreß-Reaktionen (periodische Erhöhung der Reduktionskapazität und der  $\text{H}^+$ -Ausscheidung von Wurzeln, korrespondierend mit einer erhöhten Fe-Aufnahme) bei Sonnenblumen nicht nur in Wasserkultur bei latentem Eisenmangel, sondern in abgeschwächter Form auch auf einem Kalkboden auftraten.  $\text{HCO}_3^-$  hemmte diese Eisenstreß-Reaktionen. "Kalkchlorose" aufgrund höherer  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen im Boden ist daher auch bei den sog. "Fe-effizienten" Pflanzenarten, zu denen MARSCHNER (1978) auch die Rebe zählt, verbreitet. Hohe Bicarbonatkonzentrationen hemmen nach HUTCHINSON (1967, zit.n. VENKATRAJU und MARSCHNER 1981) das Wurzelwachstum (korallenartiges Aussehen der Wurzeln). Das Wurzelwachstum und die Wurzel-Eproß-Beziehungen bei Reben (z.B. Einfluß der Zahl wachsender Wurzelspitzen auf die Nährstoff-

aufnahme; Bedeutung von Erziehungshöhe, Blattmasse und Fruchtbehang) und ihre Auswirkungen auf die Chlorose müßten in Zukunft weit intensiver untersucht werden.

Mit diesen Hinweisen soll die Erörterung der Chlorose-Ursachen abgeschlossen werden. Trotz noch bestehender Erkenntnislücken führte die Chloroseforschung zusammen mit den Beobachtungen der Praxis zu einer Reihe von Maßnahmen, mit denen sich die Krankheit mildern oder sogar beheben läßt.

### 1.1.3 Maßnahmen zur Prophylaxe und Therapie

Da die Chlorose hauptsächlich auf schweren, verdichteten, schlecht durchlüfteten Kalkböden auftritt, muß das langfristige Ziel sein, die Bodenstruktur und damit auch den Gasaustausch zu verbessern. Zu diesem Zweck empfahl MOLZ (1907, zit.n. SCHRADER 1970), 40 cm tiefe Gräben 20 cm tief mit Schlacke zu füllen. SCHRADER nahm diese Maßnahme 1970 in die Liste seiner Empfehlungen nicht mehr auf, vermutlich weil Schlacke Mangelware geworden war. Er empfahl statt dessen kulturtechnische Maßnahmen, die Förderung der Gare und den Einsatz gut verrotteter organischer Dünger. Mist schied wegen übermäßiger  $\text{CO}_2$ -Entwicklung im Boden aus (s. Kap. 1.1.2). BUCHER (1972) empfahl eine intensive organische Düngung in Form saurer Torfe oder sonstiger saurer Humusdüngemittel sowie Gründüngung zur Förderung des biologischen Gleichgewichts im Boden. Gute Erfolge bei der Behebung der Rebchlorose erzielte KADISCH (1970) durch Einarbeiten von Müllkompost in schwere Kalkböden. Auch KOLESCH (1985) konnte durch Müllklärschlammkompost-Einsatz die Chlorose nachhaltig beseitigen. SCHRADER (1970) empfahl, die Phosphatdüngung so knapp wie möglich zu bemessen und eine physiologisch saure Düngung zu vermeiden. Im Gegensatz dazu empfahl KANNENBERG (1984), offensichtlich aufgrund einer anderen Einschätzung der Chlorose-Ursachen (s. Kap. 1.1.2), eine physiologisch saure Düngung. Ob letztere in Kalkböden eine Wirkung erzielt, ist allerdings fraglich. Die schon von SCHRADER (1970) beklagte Zunahme der Bodenverdichtungen als Folge der Mechanisierung der Bodenbearbeitung hat sich in den letzten Jahren im Zuge der fortschreitenden Technisierung (schwerere Schlepper; Traubenvollernter) eher noch verstärkt. Unter diesen Umständen ist zu befürchten, daß die Chlorose noch zunehmen wird. Zu häufige oder unsachgemäße Bodenbearbeitung (z.B. Pulverisieren des Bodens (LÖB!) durch Fräsen oder Bearbeitung in zu feuchtem Zustand) sollte daher unterbleiben. Eine Tiefenlockerung sollte nur durchgeführt werden, wenn der Boden so trocken ist, daß die Hubkraft der Lockerungsschare sich bis zur Oberfläche hin auswirken kann (KANNENBERG 1984). Weitere Maßnahmen zur Schonung des Bodens sind nach STEINBERG (1985): Großvolumige Niederdruckreifen zur Verminderung des Bodendrucks; Verwendung von Schleppern mit Allradantrieb und zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten zur Vermeidung von Schlupf; weniger häufiges Befahren des Bodens durch Verwendung von Gerätekombinationen; Wechseln der Bearbeitungstiefe. Nach einer Tiefenlockerung sollten entstandene Hohlräume stabilisiert werden. Hierbei sind Kosten und erreichbarer Effekt abzuwägen. Geeignet sind Kunststoffe (z.B. Styropor), organische Dünger und Kalk. Besondere Vorteile bietet die Begrünung, deren Wurzeln den gelockerten Boden stabilisieren.

Eine Begrünung ist aber nicht nur im Anschluß an eine Tiefenlockerung sinnvoll, sondern kann generell als erfolgversprechende

Maßnahme zur Vorbeugung und Behebung der Chlorose im Weinbau angesehen werden. Wenn die Begrünung bei uns noch um 1960 oftmals als undurchführbar galt (BECKER 1982), so hat sich die Situation seitdem stark verändert. Die Vorteile einer Kurzzeit- oder Dauerbegrünung, sind erheblich: Eine geeignete Begrünung vermag den Boden vor Witterungseinflüssen bzw. deren Folgen (extreme Klimaschwankungen; Aufprall von Regentropfen; Verschlammung der Bodenoberfläche u.a.) zu schützen und die Folgen des Befahrens mit Maschinen zu mildern. Begrünungspflanzen entziehen dem Boden überschüssiges Wasser, stabilisieren mit ihren Wurzeln das Bodengefüge und fördern das vielfältige Leben auf und vor allem im Boden (Mikroflora, Mikro-, Meso- und Makrofauna). Dadurch wird u.a. der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre erleichtert. Auch zur Durchlüftung tieferer, verdichteter Bodenschichten leisten Begrünungspflanzen einen wertvollen Beitrag. Tiefwurzler wie Ölrettich, Winterraps oder Winterrüben vermögen solche Bodenzonen zu "durchporen". Die nach dem Absterben und Abbau der Wurzeln verbleibenden Röhren fördern den Gasaustausch oder dienen als Pfade für nachwachsende Wurzeln. Mit Ölrettich wurden auf schweren Kalkböden beachtliche Erfolge bei der Behebung der Rebchlorose erzielt (PERRET 1982; STRENG 1984). Zu den positiven Wirkungen der Begrünung auf Kalkböden zählt auch die pH-Absenkung im Wurzelbereich. Insbesondere Gräser vermögen die Bodenreaktion in 0 - 20 cm Tiefe deutlich zum sauren Bereich zu verschieben, wie SCHALLER und HAUSER (1979, zit.n. SCHALLER 1983) zeigen konnten. MAIER (1942) berichtete über chlorotische Birnbäume auf einem Kalkboden, die nach Einsaat von Gras wiederergrünten, während direkt danebenstehende, gleichaltrige Bäume derselben Sorte ohne Graseinsaat stark chlorotisch blieben. Daß Begrünungsmaßnahmen bei allen Vorteilen auch Probleme aufwerfen können, soll nicht unerwähnt bleiben. An erster Stelle ist hier die Wasserkonkurrenz zur Rebe in trockenen Jahren zu nennen, die eine sorgfältige Kontrolle der Begrünung erfordert. Der durch eine Dauerbegrünung chlorosegefährdeter Standorte erzielte günstige Einfluß kann im Laufe der Jahre durch eine Verdichtung der obersten Bodenschicht wieder verloren gehen, weshalb die Begrünung gelegentlich aufgerissen werden sollte (SCHALLER 1983).

Die eben beschriebenen Maßnahmen zielen auf eine langfristige Sanierung verdichteter Kalkböden ab. Daneben hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Chlorose kurzfristig durch Düngungsmaßnahmen zu beheben. Daß chlorotische Blätter durch Bestreichen oder Besprühen mit Eisensulfatlösungen wiederergrünen können, wurde in Kap.1.1.2 bereits erwähnt. Im praktischen Weinbau hat sich diese Methode allerdings nicht bewährt. BUCHER stellte 1972 sogar generell fest, Blattdüngungsmaßnahmen, auch solche mit Eisenchelaten, zur Behebung der Chlorose hätten sich meist als erfolglos erwiesen. EMIG konstatierte 1985, die Applikation von Eisenpräparaten über das Blatt sei bisher wenig erfolgversprechend gewesen, jedoch habe sich die Situation schlagartig geändert, seit 1981 ein neues Präparat auf Chelatbasis mit hohem Eisengehalt (Folicin DP; später auch Ferrogan und Petrilon 13%) mit Erfolg eingesetzt wurde. Zwei bis drei Spritzungen im Abstand von 5 bis 7 Tagen vor der Blüte führten nach EMIG zum Wiederergrünen der Laubwand und verhinderten das gefürchtete Verrieseln der Blüten bzw. der jungen Trauben.

Das für die Blattdüngung verwendete Eisensulfat wurde auch über den Boden appliziert. So wurde in den Chlorosegebieten Frankreichs (Champagne, Charente) schon seit dem vorigen Jahrhundert Eisensulfat in Mengen von 2,5 - 10 t/ha mit Erfolg eingesetzt (GÄRTEL, pers. Mitt.). Wegen der hohen Kosten konnte sich diese Düngungsmaßnahme jedoch in der Praxis nicht allgemein durchsetzen. Ein weiterer Grund ist darin zu sehen, daß es gelang, chelatisierte Eisenverbindungen zu synthetisieren, die, gemessen an der eingesetzten Menge (ca. 10 - 15 g/Rebstock) effektiver als Eisensulfat sind. Die Wirkung dieser Chelate hängt allerdings von ihrer Stabilität im basischen Milieu der Kalkböden ab. Je schwächer die Bindung des Eisens an das Restmolekül, desto leichter wird es durch Calcium verdrängt. So läßt sich die gute Wirkung von Sequestren-138-Fe damit erklären, daß diese Chelatform (FeEDDHA) wesentlich stabiler ist als etwa die des Fettilons (FeEDTA). Die Einbringung von Eisenchelaten in den Boden sollte nach BUCHER (1972) spätestens Ende Mai bis Anfang Juni, also vor dem Auftreten der Chlorose, erfolgen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß auch bei akuter Chlorose eine Sequestren-Düngung zum Boden erfolgversprechend ist, da die Reben i. d. R. nach etwa 10 - 14 Tagen wiederergrünen.

Während es sich beim Eisensulfat um ein Düngemittel handelt, gehören andere, aus Eisenverbindungen unter Zusatz weiterer Stoffe (Kalk, Gips, Torf) hergestellte Präparate zu den Bodenverbesserungsmitteln. Sie kamen unter den Namen "Flotal" und "Glotal" auf den Markt. Ihre Wirkung beruhte in erster Linie auf einer Strukturverbesserung der behandelten Böden. Flotal wurde in der Bundesrepublik erstmals 1953 angeboten. Es bewährte sich nach HEMEL (1959) hauptsächlich im Weinbau bei der Vorbereitung schwerer Böden für Neuanlagen. Der hohe Preis verhinderte aber einen großflächigen Einsatz. Bei dem mehrere Jahrzehnte später entwickelten Glotal handelte es sich um ein ähnliches Produkt, jedoch wurden darin Eisensulfat-reiche Abfälle aus der Titandioxid-Produktion, also ein dem Grünsalz verwandtes Produkt, verarbeitet. Glotal war nach CHISCI et al. (1976) preiswerter als Flotal. Dennoch konnte sich auch dieses Produkt nicht im deutschen Weinbau durchsetzen. Die Wirkung von Flotal und Glotal scheint im wärmeren Klima Italiens besser gewesen zu sein als bei uns.

Ein Katalog mit Maßnahmen zur Vorbeugung und Behebung der Chlorose im Weinbau wäre nicht vollständig ohne Hinweise auf pflanzenbauliche Aspekte. Seit langem ist bekannt, daß zwischen der Blüten- und Fruchtentwicklung einer Pflanze und ihrem Wurzelwachstum eine enge, antagonistische Beziehung besteht. Aus Messungen von KOLESNIKOW (1960, zit. n. WELLER 1965) an Obstbäumen geht hervor, daß in Perioden verstärkten Fruchtwachstums das Wurzelwachstum zurückging und umgekehrt. Das Wurzelwachstum bei ein und demselben Baum war unter vergleichbaren Umweltbedingungen in ertragreichen Jahren deutlich geringer als in ertragsarmen. Bei Obstbäumen wurde verschiedentlich nach der Zerstörung der Blüten durch einen Spätfrost ein verstärktes Wurzelwachstum beobachtet (s. bei WELLER 1965). In der Tendenz gleiche Ergebnisse wurden bei den verschiedensten einjährigen und ausdauernden Pflanzen gefunden. RYSER (1986, pers. Mitteilung) stellte bei Reben fest, daß die Chlorose um so schwächer auftrat, je mehr Trauben bereits im Frühstadium abgeschnitten worden waren. Die bei stärkerem Traubenbehang auftretende Chlorose könnte also durch ein reduziertes

Wurzelwachstum bedingt sein (vergl. Kap. 1.1.2). Die im Anschluß an ertragreiche Jahre zu beobachtende "Schwächechlorose" könnte ebenfalls mit einem reduzierten Wurzelwachstum, außerdem mit der starken Beanspruchung des Stockes und einer unzureichenden Reservestoffeinlagerung im Vorjahr erklärt werden. Auch die Erziehungshöhe der Reben kann von Bedeutung sein. So stellte REDL (1984) fest, daß beim Grünen Veltliner die Erhöhung des Rebstamms von 1,35 auf 1,7 m die Chlorose häufiger und stärker auftreten ließ. Eine Schonung der Stöcke durch geeignete Erziehung und mäßigen Anschnitt ist also auf chlorosegefährdeten Standorten ratsam. Eine der wichtigsten prophylaktischen Maßnahmen besteht in der Auswahl geeigneter, nur wenig zur Chlorose neigender Edelreiser und Unterlagen. So fiel in den eigenen Versuchen auf, daß in einer Elbling-Anlage mit den Unterlagen 26 G und 5 BB die auf 26 G gepfropften Reben erheblich stärker chlorotisch waren.

## 1.2 Grünsalz, ein problematisches Nebenprodukt der Titandioxid-Herstellung. - Geschichtlicher Rückblick

Das Weißpigment Titandioxid hat in den letzten Jahrzehnten auf dem Weltmarkt erheblich an Bedeutung gewonnen. Selber ungiftig, hat es die toxischen Pigmente Bleiweiß und Zinkweiß abgelöst. Es wird vor allem in der Farben-, Kunststoff-, Faser-, Bodenbelags-, Keramik-, Emaille-, Papier- und Kosmetikindustrie eingesetzt. 1977 wurden weltweit 2,6 Mio t produziert, davon ca. 30% von drei Herstellern in vier Werken der Bundesrepublik.

Bei der Aufarbeitung der hauptsächlich aus Norwegen kommenden, titanhaltigen Erze wird Schwefelsäure eingesetzt. Als Rückstände verbleiben Dünnsäure (mit ca 23% Rückständen) und "Grünsalz", das überwiegend aus Eisensulfat besteht. Dünnsäure und z.T. auch Grünsalz sind früher bedenkenlos in Flüsse geleitet worden, eine Praxis, die im Ausland vielfach auch heute noch üblich ist. Aufwendiger ist die "Verklappung" auf offener See. Hierfür wurde ein Gebiet 15 km nordwestlich von Helgoland ausgewiesen. Mit der Verklappung von Dünnsäure wurde 1969 begonnen. Eine Dokumentation der Fa. Kronos Titan aus dem Jahre 1983 belegt, daß beim Ablassen der Dünnsäure ins Meer durch die Verwirbelung der Schiffsschrauben augenblicklich eine Verdünnung von 1 : 11.000, nach weiteren 35 Minuten eine solche von 1 : 100.000 erreicht wird. 1980 verklappte die Fa. Kronos 750.000 t Dünnsäure mit einem Eisensulfat-Gehalt von 12 - 13%. Von etwa 1978 an stieß die Verklappung zunehmend auf Kritik. Eine Untersuchung an Fischen aus dem Verklappungsgebiet bei Helgoland ergab einen erhöhten Befall der Fischart Kliesche mit Geschwüren ("epidermale Papillome"). Dieser Befund stand im Widerspruch zu den Ergebnissen der regelmäßigen Überwachung des Seegebiets, die schon vor der Verklappung begonnen hatte. Eine Überprüfung ergab, daß solche Hautgeschwüre an Fischen außerhalb des Verklappungsgebiets ähnlich oft oder noch häufiger auftraten. Auch die bereits seit über 30 Jahren praktizierte Verklappung von Dünnsäure vor der Küste von New Jersey/USA scheint keine negativen Auswirkungen auf Flora und Fauna dieses Seegebiets gehabt zu haben. Die weitere Genehmigung der Verklappung durch die Behörden wurde dennoch davon abhängig gemacht, daß der Grünsalzgehalt der Dünnsäure laufend reduziert werden würde. Im Anschluß an eine spektakuläre "Greenpeace"-Aktion (Blockade von auslaufbereiten, mit Dünnsäure beladenen Schiffen im Hafen von Leverkusen im Oktober 1980)

teilte die Fa. Bayer in einer Presseinformation ihre Absicht mit, die Verklappung von Dünnsäure und giftiger "Buchstabensäure" bis 1983/84 einzustellen. Im Juli 1981 folgte die Mitteilung, die Verklappung könne dank neuer Produktionsverfahren bereits im März 1982 beendet werden. Die Fa. Kronos begann zu dieser Zeit, das sog. Schwefelsäure-Verfahren weiterzuentwickeln. Ziel ist es, das in der Dünnsäure enthaltene Grünsalz abzuscheiden und die Schwefelsäure in den Prozeß zurückzuführen. Das neue Verfahren soll bis ca. 1990 soweit entwickelt sein, daß die Verklappung auf See eingestellt werden kann. Dies war die Situation zu dem Zeitpunkt (1.1.1981), als mit den Untersuchungen zum vorliegenden Forschungsvorhaben begonnen wurde.

### **1.3 Problemstellung und Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens**

In Kap. 1.1.3 wurde bereits über Erfahrungen mit Eisensulfat bei der Vorbeugung und Behebung der Chlorose berichtet. Während früher der großflächige Einsatz von Eisensulfat in den Chlorosegebieten des deutschen Weinbaues vor allem am zu hohen Preis scheiterte, war jetzt eine neue Situation dadurch entstanden, daß ein Eisendünger in großen Mengen und zu voraussichtlich günstigem Preis zur Verfügung stand. Zu untersuchen war, ob die Chlorose mit Grünsalz erfolgreich behandelt werden kann (Applikationsmethoden? Mengen?) und ob mit Beeinträchtigungen, z.B. des Bodens oder Grundwassers, zu rechnen ist. Im Falle eines positiven Ergebnisses bestand Aussicht, erhebliche Grünsalzmengen auf umweltschonende Weise und zum Nutzen des Weinbaus einzusetzen und dadurch einen Beitrag zur Grünsalzentsorgung zu leisten. Über die in den Jahren 1981 bis 1985 erzielten Untersuchungsergebnisse soll im folgenden berichtet werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Zusammensetzung des Grünsalzes

Die verwendeten Produkte "Quickfloc" und "Ferrogranul 20" der Fa. Kronos Titan hatten folgende Zusammensetzung:  
 87 - 90%  $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ ,  $\hat{=}$  ca. 20% Fe; 6 - 7%  $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ ,  $\hat{=}$  ca. 0,7% Mg; 35%  $\text{SO}_4$ ; 650 - 980 mg/kg Mn; 14 - 26 mg/kg Zn; 0,53 - 0,98 mg/kg Cu; 0,49 - 0,84 mg/kg Pb; 0,06 - 0,13 mg/kg Cd; 40 - 51 mg/kg Co; 10 mg/kg Ni; 3,1 - 5,5 mg/kg Cr. Quickfloc wird schleudertrocken geliefert, Ferrogranul 20 ist unter Zusatz einer geringen Kalkmenge (< 1%) nachgetrocknet und rieselfähig. Grünsalz ist in Wasser gut und fast ohne Rückstände löslich. Quickfloc hat eine hellgrüne, Ferrogranul 20 eine weißgrüne Farbe, die nach Befeuchten in ein Rostbraun übergeht (Oxidation des zweiwertigen Eisens).

### 2.2 Böden für Labor- und Gewächshausversuche

Das Ergebnis der Bodenuntersuchung ist in den Tab.1 - 2 zusammengestellt.

Tab.1 : Versuchsböden für Labor und Gewächshaus;  
Korngrößenzusammensetzung

Boden	Jahr/Nr.	Ton	Schluff %	Sand
Nittel	82/1231	27,3	56,2	16,5
Nittel	81/1233	26,9	55,9	17,2
Nittel	84/1628	29,8	47,7	22,5
Rehlingen	85/1631	33,4	43,6	23,0
Frei-Laubersheim	81/1234	16,9	59,3	23,8
Frei-Laubersheim	84/1630	37,5	39,7	22,8
Alsheim	81/1235	8,3	61,0	30,7
Alsheim	84/1629	16,3	58,6	25,1
Andel	81/1232	15,3	49,6	35,1
Andel	84/1627	23,8	45,2	31,0

Tab.2 : Versuchsböden für Labor und Gewächshaus;  
Nährstoffgehalt, konventionelle Extraktion

Boden	Jahr/Nr.	$\text{CaCO}_3$ %	Aktiv- kalk %	pH	$\text{P}_2\text{O}_5$ mg/100 g	$\text{K}_2\text{O}$ mg/100 g	Mg
Nittel	82/1231	22	3,0	7,4	6	21	37
Nittel	81/1233*)	20	2,5	7,4	78	48	22
Nittel	84/1628*)	12	1,3	7,4	110	85	35
Rehlingen	85/1631	18	2,0	8,0	12	20	18
Frei-Laubersheim	81/1234*)	23	5,1	7,6	28	56	11
Frei-Laubersheim	84/1630*)	21	6,8	7,7	19	53	14
Alsheim	81/1235*)	25	3,0	7,9	27	27	7
Alsheim	84/1629*)	23	3,3	7,2	26	33	10
Andel	81/1232	-	-	6,0	9	34	24
Andel	84/1627*)	-	-	6,1	13	25	20

\*) Diese Böden wurden aus 0 - 10 cm Tiefe der Versuchsf lächen entnommen.

Für die Gefäßversuche wurde der Boden auf < 8 mm abgesiebt und enthielt folgenden Skelettanteil (> 2 mm): Nr.1230: 16%; Nr. 1231: 7%; Nr.1232: 27%; Nr.1627: 16%; Nr.1628: 5,2%; Nr.1629: 0,6%; Nr.1630: 1,9%; Nr.1631: 12%.

### 2.3 Böden der Feldversuche

In verschiedenen Gemarkungen in Rheinhessen, an der Nahe sowie an der Oberen Mosel wurden Chlorose-gefährdete Weinbergflächen ausgewählt. Es handelte sich um folgende Gemarkungen und Lagen:

Alsheim (Rheinhessen): Lage "Goldberg"; Bodentyp: Rigosol aus Löss-Kolluvium.

Gau-Bickelheim (Rheinhessen): Lage "Bockshaut" Bodentyp. Rigosol aus tertiärem Rupelton.

Frei-Laubersheim (Nahe): Lage "Kirchberg"; Bodentyp: Rigosol aus tertiärem Rupelton.

Nittel (Obere Mosel): Lage "Rochusfels"; Bodentyp: Rigosol aus Muschelkalkverwitterung.

Rehlingen (Obere Mosel): Lage "Kapellenberg"; Bodentyp. Rigosol aus Muschelkalkverwitterung.

Andel (Mittlere Mosel): Lage "Bernkasteler Schlossberg"; Bodentyp: Rigosol aus kalkfreiem schweren Lehm.

Die Bodeneigenschaften sind aus Tab.3 - 4 zu entnehmen.

Tab.3 : Böden der Versuchsflächen;  
Korngrößenzusammensetzung

Versuchsfläche, Jahr	Bodentiefe cm	Ton	Schluff %	Sand
Frei-Laubersheim I 1983	0 - 20	35,2	49,2	15,6
	20 - 40	39,1	45,9	15,0
	40 - 60	40,2	47,1	12,7
Frei-Laubersheim II 1983	0 - 20	27,9	57,4	14,7
	20 - 40	33,8	52,7	13,5
	40 - 60	38,9	49,8	11,3
Alsheim 1983	0 - 20	8,3	66,2	25,5
	20 - 40	9,9	63,4	26,7
	40 - 60	14,1	68,3	17,6
	60 - 80	15,3	68,3	16,4
Nittel 1983	0 - 20	29,6	58,3	12,1
	20 - 40	33,5	54,8	11,7
	40 - 60	38,7	47,1	14,2
Rehlingen I 1983	0 - 20	29,3	56,4	14,3
	20 - 40	27,9	54,5	17,6
	40 - 60	22,6	60,4	17,0
Rehlingen II 1983	0 - 20	27,4	58,6	14,0
	20 - 40	32,9	56,8	10,3
	40 - 60	28,9	60,6	10,5



Tab. 3 : Fortsetzung

Versuchsfläche, Jahr	Bodentiefe cm	Ton	Schluff %	Sand
Rehlingen 1985 (R 8)	0 - 20	31,6	50,7	17,7
	20 - 40	33,2	50,8	16,0
	40 - 60	33,3	49,2	17,5
Rehlingen 1985 (R 12)	0 - 20	33,6	52,6	13,8
	20 - 40	34,1	52,0	13,9
	40 - 60	33,4	52,7	13,9
Rehlingen 1985 (R 15)	0 - 20	32,9	54,9	12,3
	20 - 40	37,9	49,5	12,6
	40 - 60	38,4	49,0	12,6
Rehlingen 1985 (R 16)	0 - 20	29,1	54,8	16,1
	20 - 40	31,5	52,4	16,1
	40 - 60	25,2	61,7	13,1
Gau-Bickelheim 1984 (G 3) (Hangfuß)	0 - 20	36,4	43,4	20,2
	20 - 40	41,8	38,8	19,4
	40 - 60	45,2	37,0	17,8
Gau-Bickelheim 1984 (G 8) (mittlerer Hang)	0 - 20	54,8	35,6	9,6
	20 - 40	56,9	33,5	9,6
	40 - 60	59,3	31,7	9,0
Gau-Bickelheim 1984 (G 7) (oberer Hang)	0 - 20	44,0	38,7	17,3
	20 - 40	47,9	33,7	18,4
	40 - 60	48,6	34,4	17,0

Die Frei-Laubersheimer Versuchsflächen enthielten in 0 - 20 cm Tiefe 8%, die Gau-Bickelheimer 6 - 9%, die Nitteler und Rehlinger 20 - 31% Skelett, der Alsheimer Boden war skelettfrei.

Tab. 4 : Böden der Versuchsflächen;  
Nährstoffgehalt, konventionelle Extraktion

Versuchs- fläche, Jahr	Tiefe (cm)	CaCO <sub>3</sub> %	Aktiv- kalk %	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g	Mg	B mg/kg
Frei-Laubersh. I 1983 *)	0-20	26	7,5	7,4	20	78	17	1,5
	20-40	26	8,0	7,4	4,7	56	20	1,1
	40-60	28	9,3	7,5	0,3	40	22	0,94
Frei-Laubersh. II 1983	0-20	25	7,0	7,4	18	77	24	1,6
	20-40	25	6,8	7,4	9,7	48	35	1,3
	40-60	26	8,3	7,5	1,0	27	45	0,89

Tab. 4 : Fortsetzung

Versuchs- fläche, Jahr	Tiefe (cm)	CaCO <sub>3</sub> %	Aktiv- kalk %	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 g	K <sub>2</sub> O g	Mg	B mg/kg
Alsheim 1983	0-20	24	2,0	7,8	24	35	9,2	1,1
	20-40	23	2,8	7,9	20	31	8,4	0,84
	40-60	24	3,0	7,9	16	28	7,3	0,87
	60-80	25	3,5	7,9	3,3	23	7,0	0,88
Nittel 1983	0-20	15	1,0	7,2	97	86	42	1,8
	20-40	17	1,8	7,2	42	64	38	1,7
	40-60	24	2,0	7,4	6,7	41	33	1,3
Rehlingen I 1983	0-20	23	2,3	7,3	96	55	27	1,3
	20-40	26	3,0	7,3	45	46	24	0,90
	40-60	26	2,5	7,5	3,6	27	21	0,32
Rehlingen II 1983	0-20	15	2,0	7,2	77	64	30	1,6
	20-40	18	1,3	7,4	5,0	41	28	0,78
	40-60	18	2,0	7,4	4,3	12	28	0,46
Rehlingen 1985 (R 8)	0-20	8,6	1,8	7,0	132	79	24	2,0
	20-40	7,3	1,8	7,1	80	64	21	1,8
	40-60	10	1,3	7,3	38	54	20	1,5
Rehlingen 1985 (R 12)	0-20	17	1,5	7,6	99	50	23	1,2
	20-40	29	2,3	7,8	10	25	17	0,44
	40-60	33	2,0	7,8	1	10	18	0,23
Rehlingen 1985 (R 15)	0-20	9,5	1,0	7,3	144	90	35	1,9
	20-40	14	1,3	7,6	16	44	28	1,2
	40-60	20	3,0	7,7	4	15	29	0,48
Rehlingen 1985 (R 16)	0-20	39	3,0	7,6	119	80	33	1,4
	20-40	39	3,3	7,6	44	83	30	1,2
	40-60	51	2,8	7,8	7	53	21	0,64
Gau-Bickelheim 1984 (G 3)	0-20	34	13	7,6	12	80	16	1,4
	20-40	37	15	7,6	8,6	86	14	1,7
	40-60	40	16	7,7	3,3	88	14	1,6
Gau-Bickelheim 1984 (G 8)	0-20	35	15	7,6	7,0	69	24	1,3
	20-40	35	15	7,6	5,0	54	30	1,5
	40-60	34	14	7,6	4,3	37	37	1,2
Gau-Bickelheim 1984 (G 7)	0-20	48	17	7,7	5,7	86	12	1,6
	20-40	47	17	7,7	3,0	87	15	1,5
	40-60	48	17	7,7	4,3	91	16	1,3

\*) Alle Böden der Tabelle wurden im Mai bzw Juni des angegebenen Jahres entnommen.

#### 2.4 Chlorose-Boniturschema

Bonitiert wurde der Bereich des Stockes, in dem die stärksten Chlorosesymptome auftraten, also i.d.R. die obersten 30 - 50 cm des Triebes. Folgendes Schema wurde entwickelt:

Klasse	Chlorose	Symptome
0	keine	Blätter grün
1	sehr schwach	Blätter schwach aufgehellt, Interkostalfelder geringfügig heller als Nerven
2	schwach	Interkostalfelder deutlich heller als Nerven, Blätter überwiegend grün
3	deutlich	wie unter 2, Blätter jedoch überwiegend gelb
4	stark	Blätter leuchtend gelb, nur noch Nerven mit einem Saum interkostalen Gewebes grün.; z.T. Nekrosen
5	sehr stark	Blätter vergilbt, dünn, spröde, oft im Wachstum zurückgeblieben und mit Nekrosen; Nerven meist noch schwach grün.

Vergeben wurde diejenige Boniturklasse, die optisch überwog. Die Summe der Einzelbonituren, geteilt durch die Stockzahl, ergab die durchschnittliche Boniturklasse einer Parzelle. Außerdem wurde die Bandbreite der Boniturklassen (z.B. 1 - 3) angegeben. Bei Freilandversuchen war es aus Zeitmangel z.T. nicht möglich, eine Einzelstockbonitur durchzuführen. Dann wurde der prozentuale Anteil der jeweiligen Boniturklassen geschätzt. Ein Unterschied in der Boniturklasse zweier Parzellen von 0,5 charakterisierte bereits einen deutlich erkennbaren, ein solcher von 1 einen starken Unterschied im Chlorosegrad.

#### 2.5 Gefäßversuche

Für die Gefäßversuche benötigte Reben wurden aus Stecklingen in 1-Liter-Plastiktöpfen mit Torf-Boden-Gemisch angezogen. Nach ca. drei Monaten wurden die Wurzelballen unter Wasser vorsichtig gesäubert, beschnitten und in die Versuchsgefäße (1- oder 3-Liter-Plastiktöpfe mit einer Drainage aus Quarzkies; Untersetzer) umpflanzt. Die Triebe wurden ebenfalls eingekürzt, so daß während des Versuchs ein neuer Trieb heranwuchs, von dem Material zur Untersuchung entnommen wurde. Die Reben wurden einmal wöchentlich mit eisenfreier Nährlösung (Zusammensetzung s. MOHR 1985, jedoch ohne Fe-Citrat), ansonsten mit Reinwasser gegossen.

#### 2.6 Probenahme und Probenaufbereitung

Blattmaterial wurde in Plastiktüten gesammelt, im Trockenschrank bei 60°C getrocknet und in den Tüten zerrieben, Beeren bei 80°C getrocknet und im Porzellanmörser zerkleinert. Die Bodenproben wurden mit dem Pürckhauer-Bohrer entnommen, luftgetrocknet und auf < 2 mm bzw. < 1 mm abgeseibt.

## 2.7 Extraktions- und Analysemethoden

Druckaufschluß: Je 500 mg Pflanzenmaterial (bei 105°C getrocknet) wurde im Heizblock (60 Minuten bei 90°C, 30 Minuten bei 150°C) unter Druck in Autoklaven mit Tefloneinsätzen (50 ml Innenvolumen) unter Verwendung von Merck-Suprapur-Säuren aufgeschlossen (vergl. MOHR 1985). Ein Nachaufschluß mit  $H_2O_2$  (Sandbad) ermöglichte die Bestimmung von P.

Salzsäureauszug aus Blättern: Fein zerriebene Blattspreiten wurden in 0,5 n HCl (50 ml auf 0,5 g Blätter) 60 Minuten lang geschüttelt, filtriert und das Filtrat auf Fe untersucht.

Extraktion leicht löslicher Nährstoff-Fractionen aus Böden mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration (EUF): 5 g lufttrockener Boden (< 1 mm) wurde nach NÉMETH 35 Minuten lang extrahiert. Sämtliche mit dem Boden in Berührung kommende Teile der Extraktionskammer waren aus Kunststoff, Quarz oder Platin gefertigt, um eine Kontamination mit Schwermetallen zu verhindern. Die Filtrate von Anode und Kathode wurden auf Makro- und Mikronährstoffe untersucht, die Membranfilter und Platinelektroden mit n HCl ausgeschüttelt, die Eluate auf Mg und Schwermetalle (Fe, Mn, Cu) untersucht.

Bestimmungsmethoden: Die Korngrößenzusammensetzung der Versuchsböden wurde durch Schlämm- und Siebanalyse ermittelt. Der pH-Wert wurde in n KCl mit einer Glaselektrode, der P- und K-Gehalt im Ca-Laktat-(CAL)-Extrakt, das austauschbare Mg im 0,025 n  $CaCl_2$ -Auszug nach SCHACHTSCHABEL, das mobile B im n/50-HCl-Extrakt photometrisch nach GARTEL,  $NO_3^-$  nach Schütteln mit 0,1 n KF mit ionensensitiver Elektrode, der Kalkgehalt gasvolumetrisch nach SCHEIBLER ermittelt. Die Bestimmung des "Aktivkalks" erfolgte nach DROUINEAU-GALET (4 g Boden mit 100 ml 0,2n Ammoniumoxalat 2 Stunden lang geschüttelt, Filtrat mit Schwefelsäure angesäuert, erhitzt und mit 0,2 n  $KMnO_4$  titriert. Der Tongehalt wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt.). Der Sulfatgehalt in Sickerwässern und Blättern (Auszug mit kochendem Wasser) wurde mit einer Pb-Elektrode der Fa. Orion ermittelt. Die Bestimmung von Haupt- und Spurenelementen im Pflanzenmaterial erfolgte am AAS (Flamme bzw. Graphitrohr).

## 2.8 Bezugsgrößen. Statistische Absicherung

Die Einwaagen der Substrate (Boden, Torf usw.) in den Gefäßversuchen sowie die geerntete Sproß- und Wurzelmasse beziehen sich auf lufttrockenes Material. Die Analysenergebnisse beziehen sich, soweit es sich um Gesamtgehalte von Nährstoffen in Pflanzenmaterial (Druckaufschluß) handelt, auf bei 105°C getrocknetes, ansonsten auf lufttrockenes Material.

Die Signifikanz wurde durch folgende Symbole gekennzeichnet (P = Irrtumswahrscheinlichkeit):

\* =  $P < 5,0\%$ ; \*\* =  $P < 1,0\%$ ; \*\*\* =  $P < 0,1\%$ .

### 3. Grundlegende Untersuchungen zur Wirkung von Grünsalz auf Boden, Grundwasser und Pflanze

#### 3.1 Beeinflussung der bodenphysikalischen Eigenschaften

Beim Verrühren von Kalkböden mit steigenden Grünsalzmengen fiel auf, daß dem Boden zunehmend mehr Wasser zugesetzt werden konnte, ohne daß er schmierte (Beispiel: Der Rehlinger Kalkboden fing schon nach Zusatz von 300 ml Wasser an zu schmieren, der mit 1600 g Grünsalz vermischte Boden dagegen erst nach Zusatz von mehr als 500 ml.). Außerdem bildeten sich bei steigenden Grünsalzmengen in zunehmendem Maße Aggregate, der Boden "krümelte" besser, die Schüttungsdichte nahm ab. Dieser günstige Bodenzustand ging allerdings allmählich wieder verloren, wenn der in Töpfe gefüllte Boden gegossen wurde. Folgender Test sollte Aufschluß über die Aggregatstabilität geben: Rehlinger Kalkboden (Nr. 1631, s. Kap. 2.2) wurde mit steigenden Grünsalzmengen vermischt, wobei soviel Wasser zugesetzt wurde, daß der Boden gerade noch krümelte, aber nicht schmierte. Das Verrühren wurde nach dem Trocknen und nochmaligem Befeuchten wiederholt. Haselnußgroße Aggregate (insgesamt 300 g je Variante) wurden auf ein 1mm-Sieb gegeben und innerhalb von 5 Minuten 20mal in Wasser getaucht. Der auf dem Sieb verbliebene Boden wurde getrocknet und gewogen. Er machte folgenden Anteil aus:

Variante	Anteil Boden > 1 mm (%)
Kontrolle (4000 g Kalkboden)	36,8
+ 80 g Grünsalz	32,9
+ 160 g "	29,6
+ 320 g "	28,8
+ 640 g "	28,4
+1280 g "	27,9
+2560 g "	26,8

Man sieht, daß die Aggregatstabilität des Bodens mit steigender Grünsalzmenge abnahm (Eine gewisse Verfälschung des Ergebnisses durch den mit steigender Grünsalzeinwaage abnehmenden Bodenanteil soll hier nicht erörtert werden).

Eine weitere Möglichkeit, die Struktur eines Bodens zu beurteilen, besteht darin, ihn in Wasser aufzuschwemmen, in Petrischalen in dünner Schicht auszugießen und trocknen zu lassen. Die Versuchsböden aus Alsheim, Nittel, Frei-Laubersheim und Andel (Nr. 1632 - 1635, s. Kap. 2.2) wurden auf < 2 mm gesiebt, mit 0; 2,5; 10; 50 bzw. 200 g Grünsalz je 20 g Boden vermischt, aufgeschwemmt und in der angegebenen Weise in Petrischalen gefüllt. Während der unbehandelte Alsheimer Boden ohne Rißbildung trocknete, zeigte der Andeler Boden sehr schwache, der Frei-Laubersheimer Boden deutliche und der Nitteler Boden starke Rißbildung. Der Grünsalzzusatz bewirkte keine wesentliche Veränderung, Art und Stärke der Risse waren vergleichbar. In der höchsten Grünsalz-Stufe (200 g, im Andeler Boden schon bei 50 g) kam es zu einer starken Kristallausblüfung.

In der Schlämmanalyse zeigte sich, daß eine Suspension von Kalkboden, der mit größeren Grünsalzmengen versetzt wurde, nach wenigen Stunden "blank" war, da der Ton ausflockte.

Die wenigen Beobachtungen und Untersuchungen haben keinen Hinweis auf eine Verbesserung der Struktur schwerer Böden durch Grünsalz geliefert. Eine Parallele zu den Bodenverbesserungsmitteln Flotal und Glotal (Kap. 1.1.3) scheint nicht zu bestehen.

### 3.2 Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus Böden nach Grünsalz-Düngung (Kleinlysimeter-Versuch)

Zu klären war, ob nach der Düngung von Böden mit Grünsalz eine Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen ins Grundwasser zu befürchten ist. Dazu wurde folgender Modellversuch im Labor angelegt:

Zylinder aus Duran-Glas (8 cm Innendurchmesser; 35 cm Höhe; unten sich in einen Auslauf verengend; Bodensäule 25 cm hoch, auf einer Glasfritte mit Glaswolle aufliegend) wurden mit verschiedenen Böden gefüllt. Diese stammten aus 0 - 10 cm Tiefe der Versuchsfelder in Andel, Nittel, Frei-Laubersheim und Alsheim (Nr. 1627 - 1630, Bodeneigenschaften s. Kap.2.2). Die Böden wurden luftgetrocknet, zerkleinert, auf < 8 mm abgesiebt und in je drei Zylinder gefüllt, wobei folgende Schüttungsdichten erreicht wurden: Andel  $1,49 \pm 0,01$ ; Nittel  $1,32 \pm 0,05$ ; Frei-Laubersheim  $1,40 \pm 0,04$ ; Alsheim  $1,52 \pm 0,02$ . Am 17.8.1984 wurde erstmals Wasser auf die Lysimeter gegeben, das bis zum Austritt folgende Zeiten benötigte: Andel > 500 Minuten; Frei-Laubersheim 285 Minuten; Nittel 225 Minuten; Alsheim 105 Minuten. Nach dem Aufsättigen des Bodens erfolgte innerhalb der nächsten drei Wochen die Zugabe weiterer 500 ml Aqua dest. je Zylinder, bevor am 12.9. erstmals Filtrat zur Untersuchung aufgefangen wurde. Am selben Tag wurden auf die Oberfläche jedes Zylinders 25 g Grünsalz gegeben, was einer Menge von 50 t/ha entsprach. Der Boden wurde mit Quarzsand abgedeckt und mit Portionen von 100 ml Wasser/Tag gegossen, das Perkolat in 100 ml-Polyäthylenflaschen aufgefangen. Nach Bestimmung des pH wurde mit einigen Tropfen konz. Salpetersäure Suprapur auf pH 1,8 - 1,9 angesäuert. Insgesamt wurden 3600 ml Wasser je Lysimeter appliziert, was einer Niederschlagsmenge von 720 mm (bei stets wassergesättigtem Boden) entsprach. Die Temperatur während des Versuchs betrug 18°C. Im Perkolat wurden die in den Tab.5 - 15 angeführten Parameter bestimmt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt bewerten:

pH: Bei den Böden aus Nittel und Frei-Laubersheim fiel das pH des Sickerwassers nur minimal unter den Ausgangswert von 8,0. Deutlich stärker war der Grünsalz-Einfluß bereits im Alsheimer Boden (Senkung von pH 8,1 auf 6,4), extrem stark im Andeler Boden. Auffällig ist, daß das pH am 13.9., unmittelbar nach der Grünsalz-Applikation, leicht anstieg, um dann wieder abzufallen.

SO<sub>4</sub>: Der Sulfatgehalt des Sickerwassers stieg bei allen Böden stark an. Bei differenzierter Betrachtung erkennt man, daß die Werte in den ersten Tagen nach Grünsalz-Applikation von Frei-Laubersheim und Nittel über Alsheim nach Andel hin anstiegen. Zum Ende des Versuchs war, besonders im Andeler Boden, eine deutliche Abnahme der Sulfatwerte zu erkennen.

Fe: Die Auswaschung des Eisens war bei weitem nicht so stark wie die seines Komplementärsions SO<sub>4</sub>. Besonders in den schweren Kalkböden Nittel und Frei-Laubersheim war die Fe-Auswaschung im

Verhältnis zur aufgebrauchten Menge extrem schwach. Sie stieg allerdings über Alsheim zum Andeler Boden deutlich an. Die Fe-Auswaschung lief offensichtlich parallel zur pH-Senkung (s.o.).

K: Die Kalium-Auswaschung erhöhte sich nach Grünsalzapplikation um mehr als das Doppelte in den Böden Andel und Alsheim, um knapp das Doppelte in Nittel und Frei-Laubersheim. Am Ende des Versuchs war der K-Gehalt des Sickerwassers infolge der Kalium-Verluste z.T. niedriger als am Anfang.

Ca: Calcium wurde wesentlich stärker als Kalium ausgetragen. Nach Aufbringung des Grünsalzes nahm die Ca-Auswaschung um ca. das 5-7-fache zu.

Mg: Der Magnesium-Gehalt im Sickerwasser war, absolut betrachtet, deutlich niedriger als der Calciumgehalt, stieg jedoch nach Grünsalz-Applikation prozentual gleich stark oder stärker an (Nittel und Frei-Laubersheim: ca. 5-fach; Andel: ca.8-fach; Alsheim: > 20-fach).

Al: Die Aluminium-Auswaschung stieg nach Grünsalz-Applikation in den Kalkböden nur unwesentlich, im Andeler Boden dagegen stark (um Faktor > 100) an. Hierfür dürfte die starke pH-Erniedrigung im Andeler Boden verantwortlich gewesen sein (Al geht ab pH 4,3 verstärkt als  $Al^{+++}$  in Lösung und wirkt phytotoxisch).

Mn: Mangan reagiert empfindlich auf pH-Veränderungen. Der Mn-Gehalt im Sickerwasser stieg daher nach Grünsalz-Applikation stark an, und zwar in den Böden Frei-Laubersheim, Nittel und Alsheim max. um den Faktor 770 - 71.500. Die absoluten Gehalte stiegen von Nittel und Frei-Laubersheim über Alsheim zum Andeler Boden stark an.

Zn: Der Zink-Gehalt des Sickerwassers war nur gering, nahm aber nach Grünsalz-Applikation beim Alsheimer und vor allem beim Andeler Boden stark (max. um den Faktor 56 bzw. 200) zu.

Cu: Kupfer reagierte von allen untersuchten Elementen am wenigsten auf die Grünsalz-Applikation, der Cu-Gehalt der Sickerwässer nahm zum Ende des Versuchs hin sogar ab. Eine eindeutige Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden (besteht eine Beziehung zum applizierten Eisen?). Auffällig ist auch, daß das Sickerwasser der drei Kalkböden mehr Cu enthielt als dasjenige des Andeler Bodens.

Cd: Cadmium ist ein für Mensch und Tier stark toxisches Schwermetall. Man erkennt, daß es sich infolge der Grünsalzapplikation im Sickerwasser deutlich angereichert hat, insbesondere beim Andeler Boden. Der höchste Cd-Gehalt (0,001 mg/l) lag aber immer noch erheblich unter dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,006 mg/l).

Zusammenfassend können die Ergebnisse folgendermaßen bewertet werden: In dem Lysimeter-Modellversuch wurden nach Düngung von vier verschiedenen Böden mit umgerechnet 50 t/ha Grünsalz z.T. starke Veränderungen in der Zusammensetzung des Sickerwassers festgestellt. Der pH-Wert des Sickerwassers sank bei den schweren Kalkböden von Nittel und Frei-Laubersheim nur minimal, beim Lößboden aus Alsheim deutlich (von 8,1 auf 6,7) und beim kalkfreien Andeler Lehm Boden stark (von 7,8 auf 3,4). Vor allem die Sulfat-Auswaschung war generell sehr hoch (bis zu 3400 mg/l in den Kalkböden, bis zu 5100 mg/l im Andeler Boden). Beachtlich war auch der Ca-Gehalt des Sickerwassers (max. 1203 mg/l), wobei auffiel, daß der "kalkfreie" Andeler Boden annähernd die Werte der Kalkböden erreichte. Der Mg-Gehalt des Sickerwassers war deutlich geringer, stieg aber nach der Grünsalzapplikation prozentual stark an und erreichte einen Wert

Tab. 5 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf den pH-Wert des Sickerwassers aus einer 25 cm hohen Bodensäule

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	pH des Sickerwassers			
		Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
0 *)	12.9.	7,8	8,0	8,0	8,1
1	13.9.	8,3	8,4	8,4	8,4
2	14.9.	6,8	7,9	8,0	8,0
3	15.9.	6,4	7,9	8,0	8,0
4	17.9.	5,2	7,8	7,9	8,0
5	18.9.	3,8	7,7	7,6	7,9
6	19.9.		7,6	7,5	7,8
7	20.9.		7,6	7,4	7,5
8	21.9.		7,7	7,6	7,5
9	24.9.		7,8	7,7	7,7
10	25.9.		7,9	7,6	7,6
11	26.9.	3,9	7,9	7,7	7,6
12	27.9.	3,8	8,0	7,8	7,5
13	28.9.		7,9	8,0	7,4
14	29.9.		7,8	8,0	7,3
15	1.10.		7,8	8,0	7,3
16	2.10.		7,9	8,0	7,1
17	3.10.		7,9	8,0	7,0
18	4.10.		7,9	8,0	6,9
19	5.10.		7,8	8,0	6,9
20	9.10.	3,2	7,8	7,9	7,1
21	10.10.	2,9	7,8	7,9	7,0
22	11.10.	2,8	7,8	7,9	6,8
23	12.10.	2,8	7,8	7,9	6,6
24	16.10.	3,2	7,9	7,9	6,9
25	17.10.	3,1	7,9	7,9	6,8
26	18.10.	3,1	7,9	7,9	6,5
27	19.10.	3,0	7,9	7,9	6,4
28	23.10.	3,4	7,7	7,9	6,9
29	24.10.		7,9	8,0	6,7
30	25.10.		7,8	7,9	6,7
31	30.10.		7,8	8,0	
32	31.10.		7,8	7,9	
33	2.11.		7,7	7,9	
34	3.11.		7,7	7,9	
35	5.11.		7,8	7,9	
36	6.11.		7,8	7,9	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert



Tab. 6 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von SO<sub>4</sub> aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
		SO <sub>4</sub> -Gehalt im Sickerwasser (mg/l)			
0 *)	12.9.	n.n.	n.n.	111	n.n.
1	13.9.	367	n.n.	98	n.n.
2	14.9.	1000	180	107	n.n.
3	15.9.	2833	786	164	n.n.
4	17.9.	3707	2192	1025	185
5	18.9.	4573	2853	1675	1288
6	19.9.		2612	2008	1780
7	20.9.		2560	2300	3047
8	21.9.		2856	2420	3273
9	24.9.		2920	2247	3413
10	25.9.		2781	2327	3260
11	26.9.	4907	2581	2013	2867
12	27.9.	5087	2520	1947	2813
13	28.9.		2487	1933	2613
14	29.9.		2493	1867	2393
15	1.10.		2460	1787	2307
16	2.10.		2320	1792	2240
17	3.10.		2353	1760	1915
18	4.10.		2080	1808	1861
19	5.10.		1953	1808	1787
20	9.10.	2267	1800	1712	1787
21	10.10.	1747	1733	1653	1733
22	11.10.	1472	1720	1595	1691
23	12.10.	1264	1664	1520	1664
24	16.10.	1072	1618	1473	1819
25	17.10.	1057	1603	1447	1800
26	18.10.	891	1555	1473	1672
27	19.10.	693	1480	1427	1701
28	23.10.	564	1525	1400	1648
29	24.10.		1379	1367	1608
30	25.10.		1336	1340	1619
31	30.10.		1301	1320	
32	31.10.		1352	1293	
33	2.11.		1240	1300	
34	3.11.		1149	1260	
35	5.11.		1059	1233	
36	6.11.		960	1207	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 7 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche) auf die Auswaschung von Fe aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- laubersheim	Alsheim
		Fe-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)			
0 *)	12.9.	0,29	0,016	0,014	0,026
1	13.9.	41	0,031	0,029	0,020
2	14.9.	45	0,022	0,023	0,017
3	15.9.	46	0,025	0,014	0,019
4	17.9.	165	0,035	0,021	0,038
5	18.9.	388	0,023	0,037	0,11
6	19.9.		0,024	0,011	0,064
7	20.9.		0,035	0,019	0,25
8	21.9.		0,015	0,011	0,55
9	24.9.		0,027	0,022	1,7
10	25.9.		0,022	0,021	1,9
11	26.9.	711	0,036	0,031	5,0
12	27.9.	757	0,013	0,036	8,7
13	28.9.		0,019	0,052	15
14	29.9.		0,019	0,031	42
15	1.10.		0,013	0,030	16
16	2.10.		0,010	0,012	24
17	3.10.		0,020	0,019	35
18	4.10.		0,014	0,015	43
19	5.10.		0,019	0,025	38
20	9.10.	162	0,024	0,009	16
21	10.10.	219	0,014	0,019	23
22	11.10.	210	0,020	0,013	29
23	12.10.	182	0,014	0,010	35
24	16.10.	27	0,014	0,012	18
25	17.10.	42	0,016	0,019	27
26	18.10.	48	0,013	0,014	35
27	19.10.	44	0,017	0,026	38
28	23.10.	7,5	0,021	0,034	15
29	24.10.		0,013	0,029	39
30	25.10.		0,017	0,032	23
31	30.10.		0,015	0,017	
32	31.10.		0,009	0,036	
33	2.11.		0,014	0,075	
34	3.11.		0,014	0,034	
35	5.11.		0,009	0,090	
36	6.11.		0,018	0,028	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 8 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von K aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
K-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	33	121	64	85
1	13.9.	34	120	61	84
2	14.9.	39	114	60	74
3	15.9.	47	141	63	66
4	17.9.	59	183	81	71
5	18.9.	67	203	95	108
6	19.9.		200	102	145
7	20.9.		198	104	164
8	21.9.		207	104	181
9	24.9.		201	103	170
10	25.9.		193	98	154
11	26.9.	76	188	95	144
12	27.9.	74	180	91	130
13	28.9.		178	90	124
14	29.9.		175	87	116
15	1.10.		171	85	112
16	2.10.		169	83	104
17	3.10.		164	82	102
18	4.10.		154	79	95
19	5.10.		149	76	92
20	9.10.	61	145	75	91
21	10.10.	58	145	74	88
22	11.10.	53	142	75	85
23	12.10.	49	142	74	82
24	16.10.	52	140	73	81
25	17.10.	47	139	73	81
26	18.10.	44	137	71	76
27	19.10.	41	132	71	73
28	23.10.	40	131	69	71
29	24.10.		127	69	69
30	25.10.		121	66	66
31	30.10.		119	66	
32	31.10.		116	64	
33	2.11.		112	64	
34	3.11.		108	63	
35	5.11.		103	62	
36	6.11.		99	60	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 9 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/50 m<sup>2</sup> Bodenoberfläche) auf die Auswaschung von Ca aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
Ca-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	110	200	193	183
1	13.9.	163	183	233	163
2	14.9.	280	167	227	140
3	15.9.	503	357	275	113
4	17.9.	800	693	590	170
5	18.9.	810	937	927	610
6	19.9.		820	1057	895
7	20.9.		800	1110	1203
8	21.9.		847	1057	957
9	24.9.		873	937	957
10	25.9.		813	970	1013
11	26.9.	770	693	823	727
12	27.9.	663	713	817	767
13	28.9.		700	790	753
14	29.9.		670	757	680
15	1.10.		627	747	647
16	2.10.		603	760	620
17	3.10.		580	753	617
18	4.10.		540	713	593
19	5.10.		493	677	600
20	9.10.	307	480	667	623
21	10.10.	270	500	657	617
22	11.10.	230	470	647	617
23	12.10.	197	467	623	593
24	16.10.	187	453	610	630
25	17.10.	173	457	600	617
26	18.10.	150	443	590	590
27	19.10.	123	430	560	560
28	23.10.	110	423	560	573
29	24.10.		397	530	567
30	25.10.		377	527	553
31	30.10.		363	523	
32	31.10.		367	513	
33	2.11.		343	500	
34	3.11.		323	483	
35	5.11.		303	453	
36	6.11.		273	457	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 10 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Mg aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
Mg-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	43	70	26	27
1	13.9.	65	71	36	38
2	14.9.	110	63	33	26
3	15.9.	191	116	27	12
4	17.9.	315	244	57	20
5	18.9.	376	325	97	91
6	19.9.		329	121	195
7	20.9.		330	130	398
8	21.9.		372	133	607
9	24.9.		354	126	655
10	25.9.		340	115	552
11	26.9.	381	341	116	462
12	27.9.	366	320	122	392
13	28.9.		295	117	321
14	29.9.		293	120	276
15	1.10.		295	112	232
16	2.10.		273	118	203
17	3.10.		258	107	165
18	4.10.		231	98	129
19	5.10.		231	106	118
20	9.10.	136	214	100	105
21	10.10.	114	217	103	85
22	11.10.	79	193	85	52
23	12.10.	72	199	93	54
24	16.10.	72	212	107	55
25	17.10.	51	199	100	46
26	18.10.	38	194	96	60
27	19.10.	40	183	94	37
28	23.10.	30	181	88	33
29	24.10.		171	87	27
30	25.10.		168	95	33
31	30.10.		167	94	
32	31.10.		166	89	
33	2.11.		155	88	
34	3.11.		141	80	
35	5.11.		130	87	
36	6.11.		115	75	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 11 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Al aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
Al-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	0,022	0,015	0,014	0,009
1	13.9.	0,031	0,024	0,030	0,024
2	14.9.	0,027	0,018	0,032	0,019
3	15.9.	0,025	0,020	0,029	0,018
4	17.9.	0,024	0,026	0,017	0,012
5	18.9.	0,041	0,024	0,020	0,018
6	19.9.		0,030	0,016	0,012
7	20.9.		0,039	0,018	0,015
8	21.9.		0,030	0,024	0,021
9	24.9.		0,034	0,022	0,013
10	25.9.		0,030	0,013	0,010
11	26.9.	0,088	0,024	0,016	0,011
12	27.9.	0,33	0,019	0,018	0,010
13	28.9.		0,015	0,019	0,010
14	29.9.		0,022	0,014	0,010
15	1.10.		0,015	0,016	0,010
16	2.10.		0,016	0,021	0,014
17	3.10.		0,024	0,018	0,006
18	4.10.		0,015	0,013	0,011
19	5.10.		0,015	0,012	0,007
20	9.10.	1,2	0,020	0,011	0,009
21	10.10.	0,83	0,024	0,022	0,011
22	11.10.	0,63	0,023	0,019	0,016
23	12.10.	0,65	0,022	0,016	0,009
24	16.10.	2,3	0,015	0,017	0,012
25	17.10.	1,9	0,019	0,017	0,010
26	18.10.	1,4	0,012	0,017	0,013
27	19.10.	1,1	0,008	0,014	0,012
28	23.10.	1,5	0,018	0,016	0,015
29	24.10.		0,008	0,011	0,012
30	25.10.		0,009	0,025	0,012
31	30.10.		0,016	0,016	
32	31.10.		0,013	0,012	
33	2.11.		0,037	0,017	
34	3.11.		0,015	0,015	
35	5.11.		0,016	0,007	
36	6.11.		0,010	0,007	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 12 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Mn aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- laubersheim	Alsheim
Mn-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	10	0,010	0,0053	0,0013
1	13.9.	21	0,51	0,066	0,0017
2	14.9.	54	0,56	0,075	0,0027
3	15.9.	116	1,5	0,17	0,0020
4	17.9.	223	3,5	0,40	0,13
5	18.9.	312	5,6	0,93	0,77
6	19.9.		4,3	2,3	4,4
7	20.9.		5,3	3,6	22
8	21.9.		7,7	4,2	41
9	24.9.		7,0	4,4	47
10	25.9.		6,5	4,7	51
11	26.9.	400	6,6	5,8	78
12	27.9.	468	6,7	5,6	82
13	28.9.		5,8	4,7	88
14	29.9.		5,5	5,2	91
15	1.10.		5,8	5,3	93
16	2.10.		4,6	4,7	86
17	3.10.		4,5	4,7	90
18	4.10		4,2	4,7	90
19	5.10.		3,6	4,6	85
20	9.10.	219	2,1	4,4	69
21	10.10.	185	2,5	4,8	75
22	11.10.	158	2,4	4,8	75
23	12.10.	132	2,2	4,8	71
24	16.10.	121	1,7	4,6	62
25	17.10.	100	2,0	4,7	65
26	18.10.	83	5,2	5,0	66
27	19.10.	68	1,9	5,0	64
28	23.10.	64	1,1	4,5	54
29	24.10.		1,0	4,9	55
30	25.10.		1,2	4,9	51
31	30.10.		0,89	4,4	
32	31.10.		1,1	4,9	
33	2.11.		1,1	4,9	
34	3.11.		0,90	4,8	
35	5.11.		1,1	4,9	
36	6.11.		0,59	4,8	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 13 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Zn aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- laubersheim	Alsheim
Zn-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0*)	12.9.	0,0091	0,0047	0,0077	0,0050
1	13.9.	0,030	0,0059	0,0096	0,0093
2	14.9.	0,21	0,0069	0,0079	0,0088
3	15.9.	0,28	0,0085	0,013	0,0067
4	17.9.	0,65	0,014	0,020	0,0073
5	18.9.	1,8	0,028	0,028	0,024
6	19.9.		0,020	0,028	0,046
7	20.9.		0,023	0,037	0,15
8	21.9.		0,017	0,028	0,27
9	24.9.		0,016	0,025	0,25
10	25.9.		0,015	0,024	0,17
11	26.9.	1,5	0,014	0,022	0,25
12	27.9.	1,4	0,0090	0,014	0,11
13	28.9.		0,0097	0,012	0,12
14	29.9.		0,0099	0,012	0,28
15	1.10.		0,017	0,017	0,26
16	2.10.		0,014	0,016	0,25
17	3.10.		0,014	0,017	0,25
18	4.10.		0,014	0,015	0,30
19	5.10.		0,018	0,015	0,25
20	9.10.	0,87	0,014	0,013	0,18
21	10.10.	0,70	0,013	0,013	0,19
22	11.10.	0,50	0,011	0,013	0,22
23	12.10.	0,36	0,011	0,014	0,23
24	16.10.	0,52	0,0075	0,014	0,22
25	17.10.	0,79	0,011	0,018	0,12
26	18.10.	0,57	0,0093	0,016	0,11
27	19.10.	0,37	0,013	0,018	0,13
28	23.10.	0,23	0,011	0,016	0,075
29	24.10.		0,0087	0,020	0,11
30	25.10.		0,0091	0,012	0,12
31	30.10.		0,013	0,012	
32	31.10.		0,0089	0,014	
33	2.11.		0,012	0,014	
34	3.11.		0,0082	0,016	
35	5.11.		0,0083	0,011	
36	6.11.		0,010	0,015	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert



Tab. 14 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Cu aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml) Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
Cu-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	0,0066	0,29	0,16	0,24
1	13.9.	0,0065	0,29	0,16	0,21
2	14.9.	0,0032	0,31	0,16	0,24
3	15.9.	0,0029	0,22	0,15	0,21
4	17.9.	0,0051	0,24	0,16	0,18
5	18.9.	0,0049	0,24	0,16	0,18
6	19.9.		0,25	0,17	0,19
7	20.9.		0,24	0,17	0,23
8	21.9.		0,23	0,15	0,29
9	24.9.		0,23	0,16	0,25
10	25.9.		0,20	0,16	0,25
11	26.9.	0,0066	0,20	0,13	0,18
12	27.9.	0,0062	0,17	0,11	0,12
13	28.9.		0,17	0,11	0,093
14	29.8.		0,16	0,11	0,10
15	1.10.		0,16	0,10	0,072
16	2.10.		0,16	0,11	0,073
17	3.10.		0,16	0,10	0,066
18	4.10.		0,16	0,097	0,064
19	5.10.		0,15	0,11	0,081
20	9.10.	0,0069	0,11	0,12	0,067
21	10.10.	0,0085	0,16	0,13	0,059
22	11.10.	0,0077	0,15	0,11	0,044
23	12.10.	0,0047	0,15	0,11	0,038
24	16.10.	0,0090	0,15	0,11	0,048
25	17.10.	0,0080	0,14	0,11	0,039
26	18.10.	0,011	0,14	0,10	0,033
27	19.10.	0,0081	0,12	0,092	0,033
28	23.10.	0,010	0,13	0,095	0,048
29	24.10.		0,13	0,094	0,063
30	25.10.		0,13	0,092	0,043
31	30.10.		0,12	0,086	
32	31.10.		0,12	0,079	
33	2.11.		0,11	0,074	
34	3.11.		0,11	0,074	
35	5.11.		0,11	0,067	
36	6.11.		0,11	0,080	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

Tab. 15 : Einfluß einer Grünsalzgabe (25 g/ 50 cm<sup>2</sup> Bodenoberfläche)  
auf die Auswaschung von Cd aus 25 cm hohen Bodensäulen

Sickerwasser- probe (je 100 ml)  Nr.	Datum	Andel	Nittel	Frei- Laubersheim	Alsheim
Cd-Gehalt im Sickerwasser (mg/l)					
0 *)	12.9.	0,00006	0,00004	0,00003	0,00004
1	13.9.	0,00007	0,00010	0,00005	0,00007
2	14.9.	0,00011	0,00007	0,00005	0,00004
3	15.9.	0,00011	0,00016	0,00007	0,00002
4	17.9.	0,00018	0,00047	0,00009	0,00004
5	18.9.	0,0011	0,00053	0,00019	0,00009
6	19.9.		0,00037	0,00031	0,00032
7	20.9.		0,00057	0,00041	0,00076
8	21.9.		0,00066	0,00042	0,00084
9	24.9.		0,00056	0,00035	0,00054
10	25.9.		0,00049	0,00032	0,00053
11	26.9.	0,0025	0,00045	0,00037	0,00059
12	27.9.	0,0029	0,00042	0,00037	0,00056
13	28.9.		0,00045	0,00031	0,00056
14	29.9.		0,00044	0,00032	0,00076
15	1.10.		0,00040	0,00027	0,00064
16	2.10.		0,00033	0,00031	0,00067
17	3.10.		0,00037	0,00029	0,00075
18	4.10.		0,00035	0,00027	0,00065
19	5.10.		0,00029	0,00021	0,00066
20	9.10.	0,0016	0,00065	0,00022	0,00061
21	10.10.	0,0010	0,00022	0,00019	0,00062
22	11.10.	0,00059	0,00020	0,00021	0,00077
23	12.10.	0,00038	0,00017	0,00019	0,00071
24	16.10.	0,0010	0,00017	0,00018	0,00052
25	17.10.	0,00093	0,00014	0,00015	0,00056
26	18.10.	0,00050	0,00017	0,00018	0,00055
27	19.10.	0,00033	0,00015	0,00018	0,00058
28	23.10.	0,00069	0,00014	0,00016	0,00043
29	24.10.		0,00019	0,00018	0,00036
30	25.10.		0,00016	0,00018	0,00046
31	30.10.		0,00014	0,00017	
32	31.10.		0,00020	0,00019	
33	2.11.		0,00018	0,00014	
34	3.11.		0,00011	0,00015	
35	5.11.		0,00015	0,00013	
36	6.11.		0,00009	0,00013	

\*) nach Entnahme dieser Probe wurde das Grünsalz appliziert

von max. 655 mg/l. Der K-Gehalt im Sickerwasser verdoppelte sich nach der Grünsalzdüngung und erreichte 207 mg/l. Obwohl mit dem Grünsalz erhebliche Eisenmengen in den Boden gebracht wurden, stieg der Fe-Gehalt in den Sickerwässern des Nitteler und Frei-Laubersheimer Bodens kaum, im Alsheimer Boden dagegen deutlich und im Andeler Boden stark an. Bei der Löslichkeit von Fe, aber auch von Mn, Al, Zn und Cd, ist also eine deutliche pH-Abhängigkeit erkennbar. Kupfer reicherte sich als einziges Element nicht im Sickerwasser an. P wurde wegen der z.T. starken Färbung der Perkolate nicht untersucht, sein Gehalt im Sickerwasser dürfte nach Grünsalzdüngung eher abgenommen haben (Ausfällung von Phosphat im Boden!). Die für eine Grünsalzdüngung in Frage kommenden Kalkböden (Nittel, Frei-Laubersheim, Alsheim), lassen lediglich beim Sulfat einen Grad der Auswaschung erkennen, der eine Gefahr für das Grundwasser darstellen könnte. Unter dem Aspekt des Bodenschutzes bliebe zu diskutieren, ob eine pH-Absenkung sowie die verstärkte Auswaschung von Ca, Mg und K akzeptiert werden kann (s. Diskussion, Kap. 6.3). Zu berücksichtigen bleibt aber, daß die im Modellversuch applizierte Grünsalzmenge von umgerechnet 50 t/ha erheblich höher als die in der Praxis bisher übliche (bis zu 10t/ha, s. Kap. 1.1.3) war.

### 3.3 Einfluß steigender Grünsalzdüngung zu Kalkböden auf die Nährstofflöslichkeit (Untersuchungen mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration)

Für den Erfolg der Grünsalzdüngung ist entscheidend, daß das in den Boden gebrachte Eisen von der Rebe tatsächlich genutzt werden kann. In Kalkböden kann dies, wie in Kap.1.1 dargelegt, durchaus nicht vorausgesetzt werden. Daher war zunächst zu prüfen, wie sich steigende Zusätze von Grünsalz zu verschiedenen Böden auf die Löslichkeit von Fe und anderen Nährstoffen auswirken. Diese Untersuchungen wurden vor allem mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration (EUF) durchgeführt, die es gestattet, leicht lösliche Fraktionen von Nährstoffen zu erfassen.

Verschiedene Böden (Nittel Nr.1233, Frei-Laubersheim Nr.1234, Alsheim Nr.1235, Eigenschaften s. Kap. 2.2) wurden mit steigenden Grünsalzmengen vermischt und innerhalb von 3 Wochen dreimal angefeuchtet, verrührt und an der Luft getrocknet. Wie Tab.16 zeigt, nahm der Kalkgehalt der Böden mit steigender Grünsalzmenge ab, während der pH-Wert erst nach Zugabe von 50 - 100 g Grünsalz sank. Das EUF-extrahierbare Eisen stieg nach Zugabe geringer Grünsalzmengen zunächst nicht an, sondern sank sogar. Da die P-Werte ebenfalls abfielen, liegt es nahe, an die Bildung schwer löslichen Eisenphosphats zu denken. Die Extraktion desselben Nitteler Bodens mit Ca-Laktat lieferte bei P in der Tendenz gleiche Ergebnisse, Fe stieg dagegen schon nach Zusatz geringer Grünsalzmengen deutlich an (Tab.17). Das leicht lösliche Fe nahm in allen drei Böden beträchtlich zu (max. 54.480 mg/kg), sobald der pH-Wert unter 7 gefallen war. Um diesen Effekt zu erreichen, mußten dem Kalkboden umgerechnet 250 - 1000 g Grünsalz je kg zugesetzt werden. Der Anteil des leicht löslichen Mn stieg schon nach Zusatz geringer Grünsalzmengen an. Cu ging dagegen auch nach hoher Grünsalzdüngung kaum in Lösung. K fiel in den höchsten Grünsalz-Stufen sogar stark ab, was mit dem Ausflocken des Tons (s. Kap. 3.1) erklärt werden könnte. Die wichtigste Erkenntnis aus dem Versuch war, daß das

leicht lösliche Eisen in Kalkböden erst nach Zusatz großer Grünsalzmengen ansteigt.

Tab. 16 : Einfluß steigender Grünsalzgaben zu Kalkböden (200 g Einwaage) auf die mit EUF extrahierbaren Nährstoffe. (Aus MOHR 1985a)

Grünsalz added, g	pH	CaCO <sub>3</sub> %	Quantities of nutrients extracted							
			P	SO <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu
			mg/100 g					ppm		
<i>Frei-Laubersheim soil</i>										
0	7.8	23	6.1	0	47	2.2	64	6.5	0.30	0
1	7.7	22	4.3	239	45	3.9	109	3.9	1.9	0
2.5	7.7	22	4.1	398	41	8.4	165	2.2	4.9	0
5	7.7	21	1.3	745	43	18	285	1.2	9.6	0.77
10	7.7	20	1.7	1392	37	28	455	0.83	7.6	1.1
25	7.8	17	1.7	3235	40	74	912	1.2	5.3	1.1
50	7.7	11	2.0	4142	36	134	1215	0.32	6.6	1.1
100	6.8	4.4	1.9	5498	25	296	1430	17	50	1.7
200	3.9	3.1	*	14462	2.8	634	1407	37631	571	8.1
<i>Nittel soil</i>										
0	7.6	23	6.1	0	40	5.4	54	17	0.77	0
1	7.6	22	4.0	232	37	7.4	89	8.4	1.1	0.74
2.5	7.5	9.9	2.0	438	39	17	173	2.5	6.0	0.67
5	7.5	19	1.9	624	31	23	248	0.57	10	0.70
10	7.5	18	2.1	1514	36	56	469	0.72	28	1.1
25	7.5	15	1.9	3605	33	154	1007	1.2	36	1.3
50	7.2	7.7	0.79	5389	32	409	1370	1.2	51	1.1
100	4.9	3.3	*	6732	3.7	726	1184	981	389	2.5
200	3.6	2.2	*	17299	2.0	1142	1370	44996	727	12
<i>Alsheim soil</i>										
0	7.9	24	4.1	0	27	2.7	62	27	0.62	0
1	7.9	22	2.0	233	26	4.9	79	4.9	3.3	0
2.5	7.9	23	2.3	432	26	10	157	2.1	6.1	0
5	7.8	24	1.8	695	24	18	278	1.5	6.6	0
10	7.8	21	1.4	1497	24	34	477	0.56	4.6	0
25	8.0	18	2.0	2495	21	70	843	0.30	3.8	0.91
50	6.8	14	1.4	4925	22	172	1374	23	71	0.85
100	5.1	9.0	*	6738	7.2	304	1333	11153	259	2.0
200	4.7	6.0	*	17304	4.2	476	1267	54480	392	2.6

\*) wegen Eigenfärbung des Extraktes keine P-Bestimmung möglich

Tab.17 : Einfluß steigender Grünsalzgaben zu Kalkboden  
auf die Löslichkeit von Nährstoffen  
(CAL-Extrakt)

Boden	zugesezte Grünsalzmenge g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 g	Fe mg/kg
Nittel (200 g)	0	79	254
	1	61	601
	2,5	42	1325
	5	29	1733
	10	17	1492
	25	3	1483
	50	1	1375

### 3.4 Orientierende Gewächshaus- und Freilandversuche

Geklärt werden mußten zunächst folgende Fragen: Auf welche Art soll Grünsalz im Weinberg appliziert werden? Welche Grünsalzmengen sind nötig, um die Chlorose zu beheben? Welche Mengen sind möglich, ohne Schäden an den Reben zu verursachen? Zur Klärung dieser Fragen wurden orientierende Vegetationsversuche im Gewächshaus und Freiland durchgeführt.

#### 3.4.1 Vegetationsversuche im Gewächshaus

In Gefäßversuchen wurde untersucht, wie sich steigende Grünsalzgaben zu Böden und Torf auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben und anderen Kulturpflanzen auswirken. Um das Wachstum der Rebwurzeln in Grünsalz-reichen Bodenzonen auch direkt verfolgen zu können, wurden Wurzelbeobachtungskästen gebaut.

##### 3.4.1.1 Gefäßversuche

Kalkboden aus Rehlingen (Nr.1631, < 8 mm) wurde mit steigenden Mengen Grünsalz vermengt, angefeuchtet, gründlich verrührt, fünf Tage später in 3-Liter-Plastiktöpfe gefüllt und mit einjährigen Reben der Sorte Riesling. bepflanzt. Der Versuch umfaßte folgende Varianten (je 8 Wiederholungen):

1. Kontrolle (2,5 kg Boden)
2. + 50 g Grünsalz (Ferrogranul 20)
3. + 100 g "
4. + 200 g "
5. + 400 g "
6. + 800 g "
7. + 1600 g "

Der Versuch begann am 28.5.1985 und dauerte 9 Wochen.

In den Varianten mit 800 und 1600 g Grünsalz hingen die Rebblätter schon am Tag nach dem Einpflanzen schlaff herab, die Adern waren dunkel gefärbt. Später wurde auch das Triebholz schwarz. Nach einer weiteren Woche wurden die Blätter der 400-g-Grünsalz-Variante welk, später starben auch diese Reben ab. Nach weiteren vier Tagen zeigten sich in der Variante 4 (200 g Grünsalz) z.T. Randnekrosen an den Blattspreiten, zu letalen Schäden kam es jedoch nicht. Zum Versuchsende wurde in Variante 1 die Bonitur-

klasse 1-3, in den Varianten 2-4 die Boniturklasse 0 ermittelt, es war also bereits in der niedrigsten Grünsalz-Stufe ein deutlich positiver Einfluß auf die Chlorose zu erkennen. Wachstum und Nährstoffgehalt der Reben ist aus Tab.18 ersichtlich:

Tab.18 : Einfluß steigender Grünsalzgaben zu Kalkboden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben

Variante Nr.	Sproß- länge (cm)	P/Fe	P	Gehalt in der Blattspreite					
				Ca %	Mg	K	Fe	Mn mg/kg	Zn
1	149	51	0,63	1,4	0,36	2.2	124	38	35
2	149	42	0,57	1,4	0,46*	1,9	135	35	31
3	125*	37	0,50*	1,2	0,69***	1,7***	136	55***	29
4	61***	48	0,61	1,0***	1,43***	1,3***	127	104***	28***
5	-								

Man erkennt eine Reduzierung der Sproßlänge bereits in Variante 3. Der Fe-Gehalt der Blätter verändert sich praktisch nicht. Nahezu unverändert bleibt auch der Phosphatgehalt, während der Ca-, K- und Zn-Gehalt leicht abnimmt. Der Mg- und Mn-Gehalt steigt deutlich an, was auf einen pH-Effekt hindeutet. Das P/Fe-Verhältnis fällt in den Varianten 1-3 von 51 auf 37, steigt jedoch in Variante 4 wieder auf 48, ein einheitlicher Trend ist also nicht festzustellen. Die Analyseergebnisse liefern keinen eindeutigen Hinweis, warum in diesem Versuch bereits 50 g Grünsalz/2,5 kg Boden genügten, um der Chlorose vorzubeugen.

In dem Versuch wurde auch die Zahl der Unkräuter (Große Brennessel, Gänsefuß, Hahnenfuß, Gräser etc.) je Gefäß ermittelt. Sie betrug durchschnittlich 4,6 in der Kontrolle, 3,0 in Variante 1, 0,38 in Variante 2 (Differenz hoch signifikant) und 0 in Variante 4. Ab 100 g Grünsalz/2,5 kg Kalkboden war also eine deutliche herbizide Wirkung zu erkennen.

Auch einem kalkfreien Boden (Andel Nr. 1232, s. Kap. 2.2) wurden steigende Grünsalzmengen zugesetzt. Die Auswirkung auf Wachstum und Nährstoffgehalt von einjährigen Riesling-Reben ist aus Tab.19 ersichtlich (8 Wiederholungen je Variante):

Tab.19 : Wirkung steigender Grünsalzzusätze zu Andeler Boden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben

Variante	Blatt- gewicht (g)	Blattgehalt		
		Fe	Mn mg/kg	Zn
Kontrolle (1 kg Boden)	1,4	67	75	54
+ 1 g Grünsalz	1,1	85	80	58
+ 2 g "	1,0	91	86	58
+ 4 g "	1,1	91	159	56
+ 8 g "	1,2	96	1497	59

Man erkennt, daß mit steigender Grünsalzdüngung der Eisengehalt der Blätter leicht, der Mangangehalt stark, der Zinkgehalt schwach

anstieg. Das Blattgewicht blieb etwa konstant, allerdings traten in der höchsten Grünsalzstufe z.T. Blattnekrosen auf. Die Auszählung der in diesem Versuch natürlich aufgewachsenen Unkräuter (vor allem Gänsefuß) brachte folgendes Ergebnis:

Variante	Anzahl Unkräuter je Topfoberfläche
Kontrolle (1 kg Boden)	25,0
+ 1 g Grünsalz (Quickfloc)	21,1
+ 2 g "	19,5
+ 4 g "	14,3*
+ 8 g "	4,8****

Man erkennt also bereits nach Zusatz von nur 2 g Grünsalz je kg Andeler Boden eine deutliche herbizide Wirkung. Die in den Gefäßen kultivierten Reben zeigten in der höchsten Stufe (8 g Grünsalz) erste Schädigungen in Form von Blattnekrosen.

Schließlich wurde auch Weißtorf mit steigenden Grünsalzmengen vermischt und mit Reben, Mais, Weizen und Raps bepflanzt. Ein am 26.5.1981 angelegter und nach 10 Wochen beendeter Versuch mit einjährigen Reben der Sorte Riesling erbrachte die in Tab.20 aufgeführten Ergebnisse (6 Wiederholungen je Variante):

Tab.20 : *Einfluß von steigenden Grünsalzzusätzen zu Weißtorf auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben*

Variante	pH im Torf am Versuchs- ende	Blatt- gewicht (g)	Blattgehalt	
			Fe (ges.)	Fe (0,5 n HCl)
			mg/kg	
1. Kontrolle (100 g Torf TG)	3,32	1,3	122	92
2.+ 0,125 g Grüns.	3,22	1,5	132	71
3.+ 0,25 g "	3,22	1,3	114	82
4.+ 0,50 g "	3,17	1,0	101	76
5.+ 1 g "	3,16	0,43	101	92
6.+ 2 g "	3,02	-	-	-

Man erkennt bereits in Variante 5 (1 g Grünsalz) eine starke Abnahme der Blattmasse, in Variante 6 waren die Reben letal geschädigt. Das an sich schon niedrige pH des Torfes fiel durch die Grünsalzdüngung weiter ab. Die Blattanalyse zeigt, daß weder der Gesamteisengehalt noch die mit 0,5 n HCl extrahierbare Fraktion durch die Grünsalzdüngung größer geworden ist. In allen Varianten war die Boniturklasse 0 (keine Chlorose).

Außer Reben wurden auch verschiedene einjährige Versuchspflanzen getestet. Raps gedieh schon auf dem unbehandelten Torf schlecht. Weizen zeigte auf dem unbehandelten Torf schwache Chlorose (Boniturklasse 2). In den Varianten mit 0,5 bzw. 1 g Grünsalz waren die Weizenkeimlinge grün, die Wurzeln waren jedoch nur kurz und starben in der Variante mit 2 g Grünsalz ganz ab. Nur Mais gedieh

auf dem mit Grünsalz gedüngten Torf gut, weshalb die Ergebnisse des einmonatigen Versuchs in der nachfolgenden Tab.21 angeführt werden sollen (3 Wiederholungen je Variante):

Tab.21 : Einfluß steigender Grünsalz-Zusätze zu Torf auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Mais

Variante	Pflanzen- teil	Bonitur- klasse	Gewicht (g)	Fe	Gehalt	
					Mn mg/kg	Zn
125 g Torf (TG)	Blätter	3-4	1,6	44	72,8	41
	Wurzeln		1,1	56	9,0	41
+ 0,5 g Grünsalz	Blätter	1	1,8	52	67,7	33
	Wurzeln		1,2	66	11,6	36
+ 1 g Grünsalz	Blätter	1	1,4	66	76,4	38
	Wurzeln		0,83	66	13,0	32
+ 2 g Grünsalz	Blätter	1-2	1,7	57	73,5	37
	Wurzeln		0,52	66	10,2	33

Während die Blätter der Kontrollpflanzen deutlich bis stark chlorotisch waren (Boniturklasse 3-4), zeigten die Grünsalz-Varianten nur sehr schwache Chlorosesymptome. In der höchsten Grünsalzstufe war die Chlorose wieder etwas stärker, was auf einen toxischen Effekt des Grünsalzes hinweist (s. auch die deutlich geringere Wurzelmasse). Der Mn- und Zn-Gehalt der Maispflanzen veränderte sich durch die Grünsalzdüngung nicht wesentlich.

In den bisherigen Gefäßversuchen waren Reben und andere Versuchspflanzen in verschiedene, mit steigenden Grünsalzmengen vermischte Substrate (Böden, Torf) gepflanzt worden. Dabei zeigte sich z.B., daß das Rebwachstum in Kalkboden bereits nach Zusatz von 40 g je kg Boden beeinträchtigt war. Mit einer merklichen Erhöhung der Eisenlöslichkeit im Boden ist jedoch, wie die Untersuchungen in Kap.3.3 gezeigt haben, erst ab 500 g Grünsalz je kg Kalkboden zu rechnen. Daher wurde folgendes Konzept entwickelt: Die Grünsalzdüngung sollte sich auf einen Streifen bzw. ein Band in der Rebasse beschränken. Der Boden müßte bei dieser **Depotdüngung** örtlich begrenzt eine hohe Grünsalzkonzentration und dementsprechend eine gute Eisenverfügbarkeit aufweisen. Zu prüfen blieb, ob die Rebwurzeln in der Lage waren, ohne geschädigt zu werden in dieses Depot einzudringen und die Rebe ausreichend mit Eisen zu versorgen. Der Klärung dieser Frage diente eine Reihe von orientierenden Vegetationsversuchen im Gewächshaus.

Zunächst wurden Plastikschrüsseln wie in Abb.1 dargestellt mit Kalkboden (Nittel Nr.1231, < 8 mm, s. Kap. 2.2) gefüllt und mit einjährigen Reben der Sorte Huxel bepflanzt, wobei unterschiedliche Depots angelegt wurden :



1. Kontrolle
  2. 70 g Grünsalz je Depot
  3. 200 g Torf (TG) + 40 g Grünsalz je Depot
  4. 200 g Torf (TG) + 100 g Grünsalz je Depot
- Versuchsbeginn: 24.5.1982; Dauer: 4 Monate; zwei Wdh. je Variante.

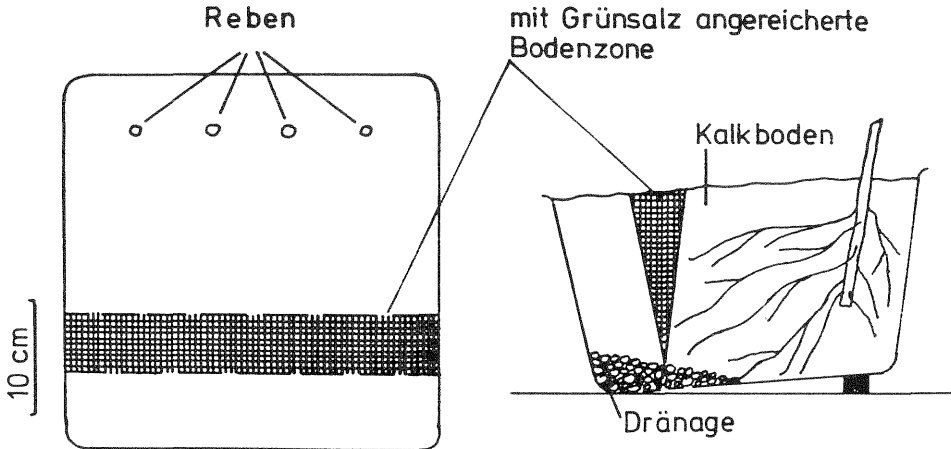


Abb. 1 : Modellversuch zur Grünsalz-Depotdüngung  
links: Aufsicht; rechts: Längsschnitt

Am Versuchsende waren die Reben der Kontrolle sehr schwach chlorotisch, die der übrigen Varianten grün (Boniturklasse 0). In der Wüchsigkeit war kein Unterschied erkennbar. Beim Freipräparieren der Wurzelballen zeigte sich, daß das Depot der Varianten 2 und 4 etwa gleich gut, dasjenige der Variante 3 sogar besser durchwurzelt war als die entsprechende Bodenzone der Kontrolle (vergl. aber die z.T. abweichenden Ergebnisse in Kap. 3.4.1.2 und 4.2.). Vergleicht man dieses Resultat mit den bisher erzielten, so läßt sich folgern: Rebwurzeln tolerieren einen wesentlich höheren Grünsalzgehalt, wenn sie aus Kalkboden in eine mit Grünsalz angereicherte Zone hineinwachsen als wenn sie ausschließlich in einem solchen mit Grünsalz angereicherten Substrat wachsen. Unter letzteren Bedingungen ist, wie Tab.20 zeigt, bereits eine Konzentration von 1 g Grünsalz je 100 g Torf schädigend für das Rebwachstum.

### 3.4.1.2 Wurzelbeobachtungskästen

Mit Hilfe von Wurzelbeobachtungskästen sollte geklärt werden, wie sich verschiedene, als Depot in den Kalkboden gebrachte Eisendünger (Grünsalz; Torf + Grünsalz; Sequestren) auf das Wachstum von Rebwurzeln auswirken.

Für die Untersuchungen wurden die in Abb.2 dargestellten Kästen gebaut. Als Material diente Plexiglas (Vorder- und Rückplatte 1 cm, Seitenteile 2,5 cm stark; durch V2A-Gewindestäbe und -muttern zusammengehalten; Innenmaße: 30 x 52,5 x 9 cm; zerlegbar) Die Kästen waren nach vorne um 20° geneigt, konnten zum Gießen jedoch aufrecht gestellt werden. Sie waren mit schwarzer Folie, die Frontplatte mit einem abnehmbaren Karton verdunkelt. Zum Füllen der

Kästen wurden in der Mitte zwei durch Gewindestäbe verbundene Plexiglasplatten (Distanzhalter, innerer Abstand: 8 cm) herabgelassen. Dazwischen wurde das jeweiligen Depot, links und rechts der Kalkboden eingefüllt und fest angedrückt. Der Distanzhalter wurde beim Einfüllen allmählich hochgezogen. Der Kalkboden zu beiden Seiten des Depots wurde mit je einer Rebe bepflanzt. Nach Aufkleben einer durchsichtigen Folie auf die Frontplatte konnten die dort sichtbar werdenden Wurzeln mit einem Faserschreiber nachgezeichnet und später mit schwarzer Tusche auf Transparentpapier übertragen und photographiert werden.

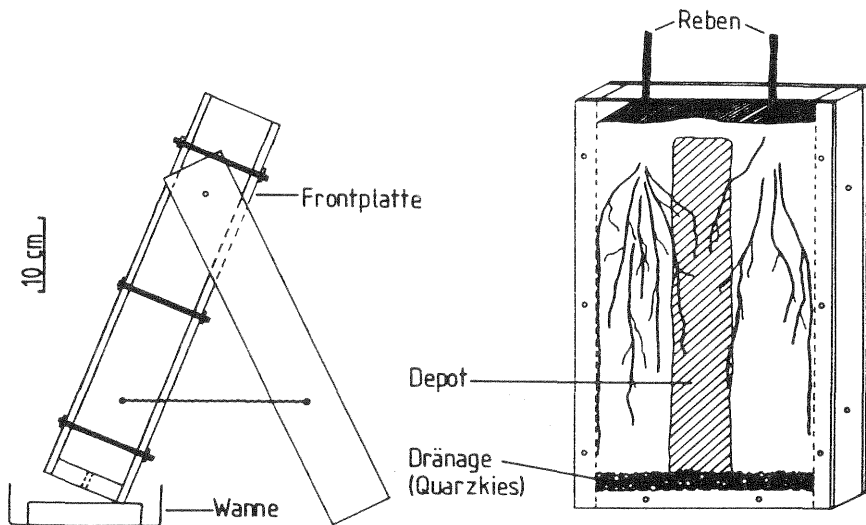


Abb. 2 : Aufbau der Wurzelbeobachtungskästen  
links: Seitenansicht; rechts: Frontansicht

1. Versuch: Der erste in den Wurzelbeobachtungskästen durchgeführte Versuch hatte folgende Varianten :

Variante Nr.	Mittelkammer (Depot)	Seitenkammern
1.	3,5 kg Kalkboden*) (Kontrolle)	je 5 kg Kalkboden
2.	2 g Sequestren/kg Kalkboden	"
3.	200 g Grünsalz/kg Kalkboden	"
4.	500 g Grünsalz/kg Torf (TG)	"
5.	Rindenkompost (Humorind)	"

\*) Nittel Nr. 1231 (< 8 mm, s. Kap. 2.2)

Verwendet wurden zweijährige Reben der Sorte Huxel. Je Variante zwei Beobachtungskästen. Versuchsdauer: 2.5. - 13.10.1983.

2. Versuch: Folgende Varianten wurden angelegt:

Variante Nr.	Mittelkammer (Depot)	Seitenkammern
1.	3,5 kg Kalkboden (Kontrolle)	je 5 kg Kalkboden
2.	160 g Grünsalz/kg Kalkboden	"
3.	125 g Grünsalz/kg Weißtorf (TG)	"

Als Versuchspflanzen dienten einjährige Reben der Sorte Riesling, Versuchsboden wie im vorigen Versuch, je Variante zwei Wurzelbeobachtungskästen. Versuchsbeginn: 21.6.1985; Versuchsende: 27.8.1985.

Ergebnisse: Abb.3 zeigt drei Folien aus dem ersten Versuch (eingesetzte Reben durch Pfeile symbolisiert). Das Depot mit 200 g Grünsalz/kg Kalkboden (Abb.3B) war etwa ebenso gut durchwurzelt wie die Kontrolle (Abb.3A). Das Depot mit 500g Grünsalz/kg Torf wurde zunächst zögernd und mehr am Rande durchwurzelt, die Wurzelspitzen starben z.T. ab. Die Durchwurzlung verbesserte sich (infolge der allmählichen Austrocknung des Torfs?) gegen Ende des Versuchs (Abb.3C). Im zweiten Versuch (Abb.4) wurde das Torf-Grünsalz-Gemisch während der ganzen Vegetationsperiode feucht gehalten. Am 27.8.1985 wurde im Depot ein pH von 2,8 gemessen. Trotz der geringeren Grünsalzeinwaage (125g/kg Torf) war das Depot nur am Rand durchwurzelt (Abb.4B; Kontrolle s.Abb.4A). Die Toxizität des Torf-Grünsalz-Gemisches nahm also mit steigender Feuchte zu. Dies wird durch die Ergebnisse aus Kap. 4.2, Versuch B bestätigt. Schäden nach Grünsalzdüngung wurden an den oberirdischen Rebscheiden nicht beobachtet. Die Durchwurzlung des Rindenkomposts war nur schwach (vergl. Kap. 4.2, Versuch B).

#### 3.4.1.3 Kapitel-Zusammenfassung

Folgendes Fazit kann aus den in Kap. 3.4.1 beschriebenen orientierenden Labor- und Gewächshausversuchen gezogen werden: Der Zusatz von Grünsalz zu Kalkboden hatte eine deutliche Chloroseverbeugende Wirkung. Wuchsdepressionen bzw. Nekrosen traten bei den Reben ab einer Grünsalzmenge von 40 g je kg Kalkboden, von 8 g je kg kalkfreiem Lehm Boden oder von 10 g je kg lufttrockenem Torf auf. Erstaunlich war, daß Rebwurzeln wesentlich höhere Grünsalzkonzentrationen tolerierten, wenn sie aus Kalkboden in Grünsalz-reiche Depots (Grünsalzkonzentration: 160 -200 g je kg Kalkboden bzw. 125 - 500 g je kg lufttrockenem Torf) hineinwuchsen. Schäden an den oberirdischen Rebscheiden wurden nicht beobachtet, die Wurzeln wuchsen aber z.T. zögernd in die Torf-Grünsalz-Gemische ein. Die mit der Elektro-Ultrafiltration (EUF) durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß die Fraktion des leicht löslichen Eisens in Kalkböden erst nach Zusatz hoher Grünsalzmengen (ca. 500 g/kg Boden) anstieg (s. Kap 3.3). Das CAL-lösliche Fe stieg dagegen schon nach Zusatz geringer Grünsalzmengen zu Kalkboden an. Aufgrund der Voruntersuchungen bestanden gute Aussichten, die Grünsalz-Depotdüngung auch im Freiland erfolgreich durchführen zu können.

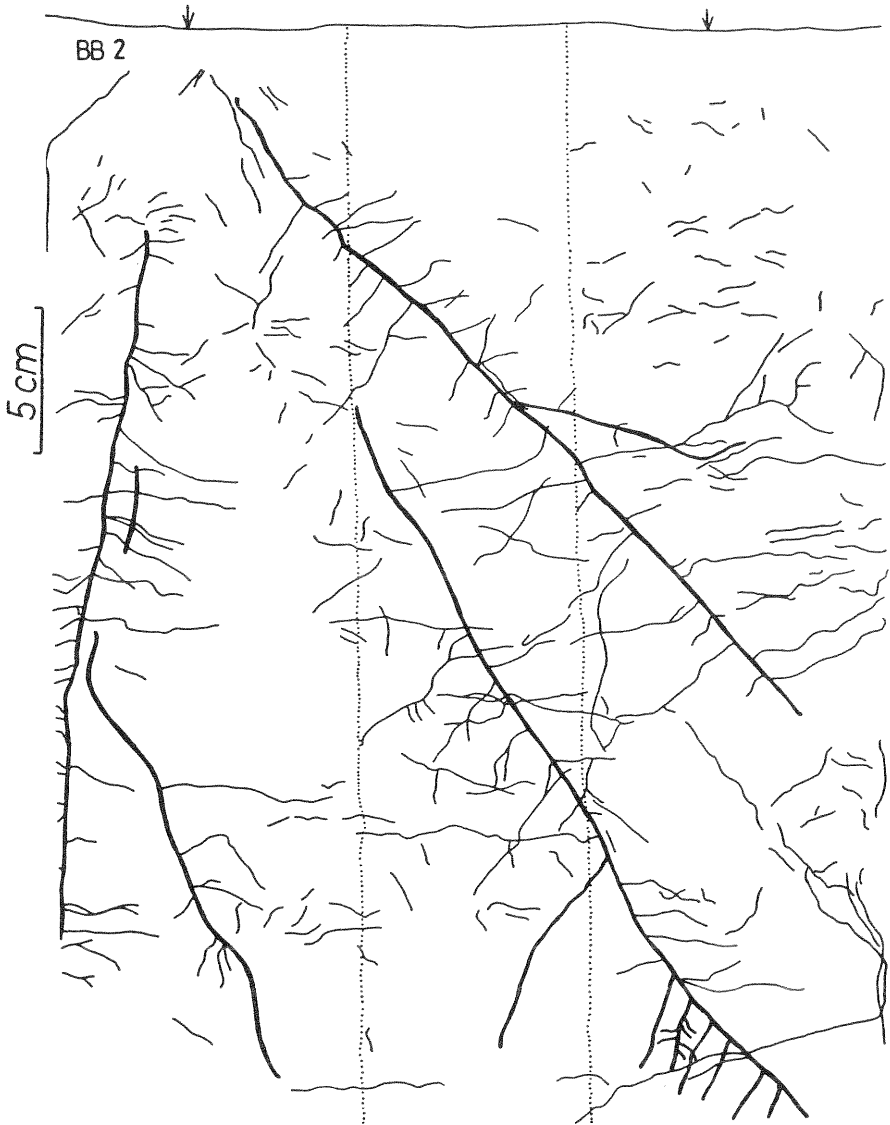


Abb. 3 : Erster Modellversuch mit Wurzelbeobachtungskästen

A: Verteilung von Rebwurzeln in einem Kalkboden.  
13.10.1983

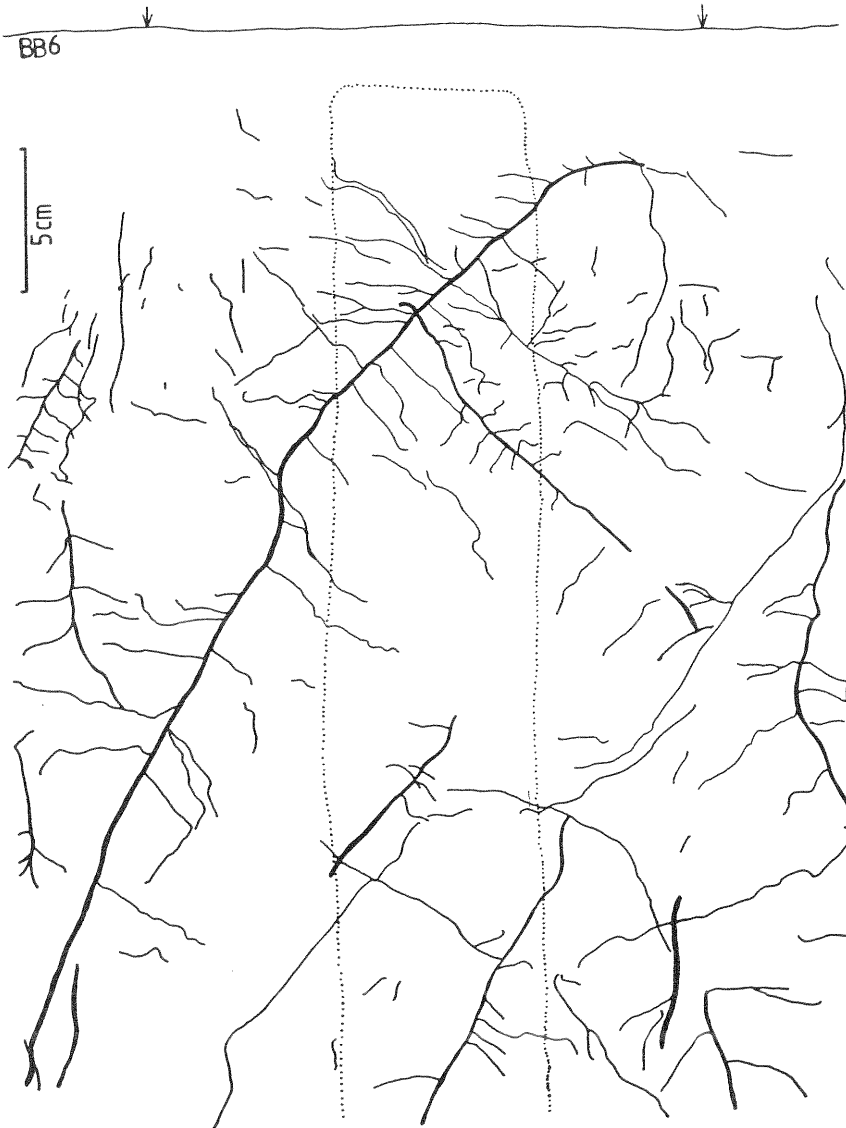


Abb. 3 : Erster Modellversuch mit Wurzelbeobachtungskästen

B: Verteilung von Rebwurzeln in einem Kalkboden  
mit einem Depot aus 200 g Grünsalz je kg Boden  
(Bildmitte).  
13.10.1983



Abb. 3 : Erster Modellversuch mit Wurzelbeobachtungskästen

C: Verteilung von Rebwurzeln in einem Kalkboden  
mit einem Depot aus 500 g Grünsalz je kg luft-  
trockenem Torf (Bildmitte).  
13. 10. 1983

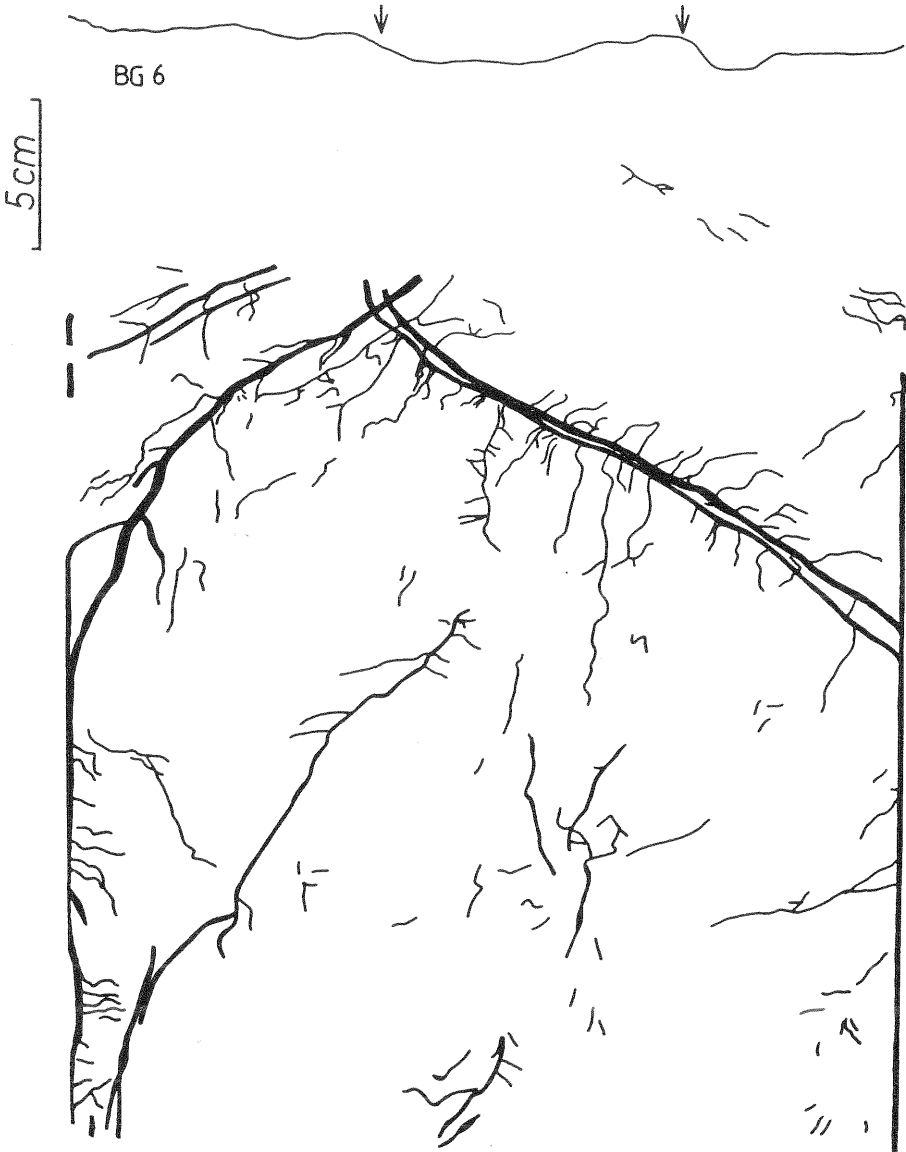


Abb. 4 : Zweiter Modellversuch mit Wurzelbeobachtungskästen

A: Verteilung von Rebwurzeln in einem Kalkboden.  
27. 8. 1985



Abb. 4 : Zweiter Modellversuch mit Wurzelbeobachtungskästen

B: Verteilung von Rebwurzeln in einem Kalkboden  
mit einem Depot aus 125 g Grünsalz je kg luft-  
trockenem Torf (Bildmitte).  
27. 8. 1985



### 3.4.2 Feldversuche

Parallel zu den orientierenden Vegetationsversuchen im Gewächshaus wurden orientierende Feldversuche durchgeführt. In diesen Freilanduntersuchungen sollte vor allem geklärt werden, welche Grünsalzmengen gefahrlos gedüngt werden können und wie sich verschiedene Applikationstechniken auf das Auftreten der Rebchlorose auswirken.

#### 3.4.2.1. Einbringung von Grünsalz in den Wurzelbereich während der Vegetationsperiode

In diesem Tastversuch sollte geklärt werden, ob Grünsalz während der Vegetationsperiode gefahrlos in den Wurzelbereich gebracht werden kann und welche Eisenmengen von der Rebe aufgenommen werden. In einer institutseigenen Rebfläche in Andel wurden um die Versuchsbereben (Boden: kalkfreier schwerer Lehmboden; Rebsorte: Müller-Thurgau auf SO4; Alter: 11 Jahre) herum mit einem Erdbohrer je 4 Löcher von 50 cm Tiefe und 15 cm Durchmesser ausgehoben. Der Abstand zum Rebstamm betrug 40 cm. Folgende Grünsalzmengen wurden appliziert:

1. Kontrolle
2. 90 g Grünsalz (Quickfloc) je Bohrloch
3. 180 g " " " "
4. 360 g " " " "

Das Grünsalz wurde trocken eingefüllt, löste sich aber in dem Bodenwasser recht schnell. Die Löcher wurden wieder mit Boden gefüllt. Je Variante wurden 12 Reben behandelt. Der Versuch begann am 19.6.1980, als der Austrieb schon begonnen hatte.

Versuchsergebnis: Auf den Blattspreiten der mit Grünsalz gedüngten Reben traten leichte bis schwere Verbrennungen (Nekrosen) auf, deren Intensität von Variante 2 nach Variante 4 zunahm. Die später gebildeten jungen Rebblätter waren dagegen symptomfrei. Eine Analyse der am 18.7.1980 entnommenen Blattspreiten erbrachte die in Tab.22 zusammengestellten Ergebnisse:

Tab.22 : Einfluß einer Grünsalzdüngung im Wurzelbereich auf den Nährstoffgehalt von Rebblättern

Variante	Material	Fe	Mn Gehalt	Zn (mg/kg)	Cu
1	alte Blattspreiten, grün	133	248	48	6,1
4	alte Blattspreiten, stark nekrotisch	511***	297	63**	9,0***
1	junge Blattspreiten, grün	129	307	68	7,4
4	junge Blattspreiten, grün	138	357	69	7,9

In den alten, nekrotischen Blattspreiten war also ein starker, statistisch sehr gut gesicherter Anstieg des Eisengehalts festzustellen. Da ein Sulfat-Anstieg in den Blättern nicht nachzuweisen

war, scheinen die starken Schäden hauptsächlich durch das Eisen-Ion verursacht worden zu sein (vergl. Kap. 5.3). Auch der Mn- Zn- und Cu-Gehalt nahm zu. In den jungen Blättern war dagegen nur ein vergleichsweise geringer, statistisch nicht gesicherter Anstieg zu verzeichnen. Weitere Analysen im darauffolgenden Jahr (am 22.5. und am 8.7.1981) zeigten praktisch keine Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Varianten 2 - 4 mehr. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß Grünsalz auf keinen Fall zu physiologisch aktiven Rebwurzeln gegeben werden darf.

#### 3.4.2.2 Feldversuche auf Chlorosestandorten

In orientierenden Freilandversuchen sollten verschiedene Grünsalz-Applikationstechniken getestet werden. Insbesondere war diejenige Grünsalzkonzentration im Boden zu ermitteln, die der Chlorose vorbeugt, ohne die Reben zu schädigen. Wie der Tastversuch in Anedel (s. voriges Kapitel) gezeigt hatte, darf Grünsalz auf keinen Fall während der Vegetationsperiode in den Wurzelbereich gelangen, da die Gefahr einer Schädigung der Rebe zu groß ist. Für die Grünsalz-Ausbringung kommt daher nur ein prophylaktischer, aber kein therapeutischer Einsatz in Frage. In diesem Sinne wurden alle weiteren Feldversuche angelegt.

##### A) Nittel (Obere Mosel)

Charakterisierung der Versuchsfläche (s. auch Kap. 2.3): schwache Hangneigung (Seitenhang); Rebsorte Elbling, gepfropft auf 143 A, 15 Jahre alt; Gassenbreite 2,30 m; Stockabstand 1,10 m. Je Variante 3 Wiederholungen (Blöcke) mit je 18 Reben auf 71 m<sup>2</sup> Fläche. Varianten:

1. Kontrolle
2. Torf-Grünsalz-Gemisch (10 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf) fertig gemischt und naturfeucht in Pflugfurchen (beiderseits der Rebzeile, 25 cm tief; 160 Liter Torf je laufendem Meter Rebzeile eingefüllt, anschließend zugepflügt).
3. Grünsalz ("Quickfloc", umgerechnet 10 t/ha) gestreut und mit Grubber flach eingearbeitet.
4. Grünsalz "gelant": Mit zugespitztem Eisenstab wurden in ca. 30 cm Abstand vom Rebstock vier Löcher von 30 cm Tiefe gestochen und je 1,25 Liter einer 2,5%igen Grünsalzlösung eingefüllt.
5. Sequestren "gelant": Mit dem in Variante 4 beschriebenen Verfahren wurden je Rebstock 15 g Sequestren-138-Fe in 4 Liter Wasser gelöst appliziert.

Der Versuch begann am 2.4.1982. Am 14.4.1983 wurden in Variante 4 nochmals 6 x 50 g Grünsalz, diesmal als Pulver, appliziert.

Am 28.6.1982 und 29.6.1983 wurde die Chlorose stockweise bonitiert, mit folgendem Ergebnis (s. folgende Seite oben): Die Varianten 4 (Grünsalz gelant) und 5 (Sequestren gelant) wurden zu beiden Terminen besser bewertet als die Kontrolle, insgesamt waren die Unterschiede zwischen den Varianten aber gering und statistisch nicht gesichert.

Variante	28.6.1982		29.6.1983	
	von-bis	Ø	von-bis	Ø
1 (unbehandelt)	0 - 2,5	0,73	1 - 2	1,40
2 (Torf + Grünsalz)	0 - 2	0,88	1 - 2	1,18
3 (Grünsalz, gestreut)	0 - 3	0,77	1 - 2	1,34
4 ( " , gelantzt)	0 - 2	0,65	1 - 2	1,33
5 (Sequestren)	0 - 2	0,50	1 - 2	1,31

Auch eine am 1.10.1982 blockweise durchgeführte Ertragsermittlung ließ keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Varianten erkennen:

Variante	Einzelstock-Ertrag (kg)	Mostgewicht =Oechsle	Säuregehalt %
1	11,3	55	9,3
2	10,3	57	9,0
3	11,5	57	9,5
4	10,7	58	9,3
5	10,2	57	9,1

B) Frei-Laubersheim I (Nahe)

Charakterisierung der Versuchsanlage (s. auch Kap. 2.3): schwache Hangneigung; Rebsorte Silvaner, gepfropft auf 5 BB, 25 Jahre alt; Gassenbreite 1,30 m; Stockabstand 1,10 m; je Variante 3 Wiederholungen (Blöcke) mit je 30 Reben auf 91 m<sup>2</sup> Fläche.  
Varianten:

1. Kontrolle
2. Torf-Grünsalz-Gemisch (10 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf) in Pflugfurchen, s. Versuch A, Variante 2, jedoch 110 Liter Torfgemisch je laufendem Meter Rebzeile.
3. Bohrlöcher (in 40 cm Abstand vom Rebstock mit Erdbohrer ausgehoben, 15 cm Ø, 30 cm tief), vier je Rebe, mit Torf-Grünsalzgemisch (wie Variante 2) gefüllt.
4. Grünsalz ("Quickfloc", umgerechnet 10 t/ha) gestreut und flach eingearbeitet.
5. 2%ige Grünsalzlösung "gelantzt", s. Versuch A, Variante 4.

Der Versuch begann am 24.3.1982. Ein Jahr später, am 11.3.1983, wurden in Variante 5 nochmals 6 x 50 g Grünsalz, diesmal als Pulver, appliziert.

Zur Bewertung der Chlorosestärke wurde am 25.6.1982 und am 23.5.1983 eine Einzelstockbonitur durchgeführt, die folgendes Ergebnis brachte (s. folgende Seite oben): Etwas besser als die Kontrolle wurden zu beiden Terminen die Varianten 2 (Torf-Grünsalz-Gemisch in Pflugfurchen) und 5 (Grünsalz gelantzt) bewertet, im übrigen war keine eindeutige Tendenz zu erkennen (Unterschiede nicht statistisch gesichert).

Variante	Boniturklasse			
	25.6.1982		23.5.1983	
	von-bis	Ø	von-bis	Ø
1 (unbehandelt)	0 - 3	0,93	0,5 - 2,5	0,78
2 (Torf + Grünsalz)	0 - 3	0,93	0,5 - 1,5	0,53
3 (" + ", Bohrlöcher)	0 - 3	1,18	0,5 - 1,5	0,68
4 (Grünsalz, gestreut)	0 - 3	1,14	0,5 - 2,5	0,73
5 ( " , gelantz)	0 - 4	0,83	0,5 - 2,5	0,77

Die am 20.10 1982 blockweise durchgeführte Ertragsermittlung erbrachte keine statistisch gesicherten Ertragsdifferenzen:

Variante	Einzelstock-Ertrag (kg)	Mostgewicht "Oechsle	Säuregehalt %
1	2,4	86	9,1
2	2,2	86	9,2
3	2,7	85	9,1
4	2,0	90	9,3
5	2,3	90	9,3

C) Alsheim (Rheinhessen)

Charakterisierung der Versuchsanlage (s. auch Kap. 2.3): Flachlage; Rebsorte Müller-Thurgau, gepfropft auf 125 AA, 14 Jahre alt; Gassenbreite 1,50 m; Stockabstand 1,50 m; je Variante 3 Wiederholungen (Blöcke) mit je 32 Reben auf 144 m<sup>2</sup> Fläche.

Varianten:

1. Kontrolle
2. Torf-Grünsalz-Gemisch in Pflugfurche ,s. Versuch B, Variante 2, jedoch 80 Liter Torfgemisch je laufendem Meter Rebzeile.
3. Torf-Grünsalz-Gemisch in Bohrlöchern, s. Versuch B, Variante 3.
4. Grünsalz ("Quickfloc", umgerechnet 10 t/ha) gestreut und flach eingearbeitet.
5. 2%ige Grünsalzlösung "gelantz", s. Versuch A, Variante 4.

Der Versuch begann am 6.4.1982. Ein Jahr später, am 11.3.1983, wurden in Variante 5 nochmals 6 x 50 g Grünsalz, diesmal als Pulver, appliziert. Die Chlorosestärke wurde am 25.6.1982 und am 23.5.1983 folgendermaßen bewertet:

Variante	Boniturklasse			
	25.6.1982		23.5.1983	
	von-bis	Ø	von-bis	Ø
1 (unbehandelt)	0 - 4	1,60	0,5 - 4	1,23
2 (Torf + Grünsalz)	0 - 3	1,18	0,5 - 3	1,17
3 (" + ", Bohrlöcher)	0 - 3	1,42	0,5 - 3	0,90
4 (Grünsalz, gestreut)	0 - 5	1,62	0,5 - 4	1,33
5 ( " , gelantz)	0 - 5	1,68	0,5 - 3	0,99

Die Chlorose war 1982 in Alsheim wesentlich stärker ausgeprägt als in Nittel oder Frei-Laubersheim. Betroffen war in der Gemarkung Alsheim nicht nur das Versuchsfeld, sondern eine größere Zahl weiterer Müller-Thurgau-Anlagen in der Rheinebene. Offensichtlich waren nicht Niederschläge und kühle Witterung für diese Chlorose verantwortlich, sondern im Gegenteil hohe Temperaturen zu Beginn der Vegetationsperiode. Bereits im heißen und trockenen Jahr 1976 trat in dieser Gemarkung verstärkt Chlorose auf (LOTT, pers. Mittlmg.). Offenbar waren die Reben, und zwar in erster Linie die Sorte Müller-Thurgau, nicht in der Lage, die schnell wachsenden Triebe ausreichend mit Nährstoffen, vor allem Eisen, zu versorgen. Verschärfend haben sich vermutlich auch die vorausgegangenen nassen Jahre ausgewirkt, indem sie das oberflächennahe Wurzelwachstum auf Kosten des Tiefenwachstums förderten. Unter dieser Prämisse ist vorstellbar, daß Nährstoffe aus der schnell austrocknenden oberen Bodenschicht nur unzureichend aufgenommen wurden. Wie das Ergebnis der Bonitur zeigt, wurden zu beiden Terminen die Varianten 2 (Torf-Grünsalz-Gemisch in Pflugfurchen) und 3 (Torf-Grünsalz-Gemisch in Bohrlöchern) besser als die Kontrolle bewertet, schlechter schnitt die Variante 4 (Grünsalz gestreut) ab. Die am 27.9.1982 durchgeführte Ertragsermittlung erbrachte gegenüber der Kontrolle in den Varianten 2, 3 und 5 eine Ertragssteigerung, in Variante 4 eine Ertragsdepression, ohne daß die Unterschiede jedoch statistisch gesichert waren:

Variante	Einzelstock-Ertrag (kg)	Mostgewicht %Oechsle	Säuregehalt %
1	3,6	81	8,1
2	4,3	80	8,0
3	4,3	81	7,2
4	3,4	81	7,6
5	4,1	80	8,5

Die Ergebnisse aus den 1982 angelegten, orientierenden Feldversuchen in Nittel, Frei-Laubersheim und Alsheim können folgendermaßen bewertet werden: Insgesamt war die Wirkung des auf verschiedene Weisen (allein oder mit Torf gemischt) applizierten Grünsalzes nur gering. Abzusichern war lediglich eine Ertragsdepression in der Versuchsfläche Frei-Laubersheim, Variante 4 (10 t/ha Grünsalz gestreut). Aus den Versuchsergebnissen wurde der Schluß gezogen, daß die applizierten Grünsalzmengen zu gering waren, um eine deutliche Chlorose-vorbeugende Wirkung zu entfalten. 1983 wurden daher drei weitere orientierende Feldversuche angelegt, in denen erheblich höhere Grünsalzmengen zum Einsatz kamen.

#### D) Rehlingen I (Obere Mosel)

Charakterisierung der Versuchsfläche (s. auch Kap.2.3):  
Flachlage; Rebsorte Elbling, gepfropft auf 3309, 25 Jahre alt;  
Gassenbreite 2,40 m; Stockabstand 1 m; drei Wiederholungen je Variante; wegen der Unregelmäßigkeit der Versuchsfläche schwankte die Stockzahl je Block zwischen 18 und 44.  
Varianten:

1. Kontrolle
2. Grünsalz (Ferrogranul 20) in Pflugfurche gefüllt (beidseitig der Rebzeile, 2 kg je laufendem Meter Rebzeile) und zugepflügt.
3. Torf-Grünsalz-Gemisch (500 g Grünsalz/kg lufttrockenem Weißtorf) fertig gemischt und naturfeucht in Pflugfurchen (beiderseits der Rebzeile, 25 cm tief; 160 Liter Torfgemisch je laufendem Meter Rebzeile) eingefüllt, anschließend zugepflügt.
4. Sechs Spateneinstiche, 20 cm tief, in 20-30 cm Entfernung vom Rebstock mit je 50 g pulverförmigem Grünsalz gefüllt.
5. wie Variante 4, jedoch 20 g Sequestren-138-Fe in 1 Liter Wasser gelöst appliziert.

Der Versuch begann am 14.4.1983. Die am 29.6.1983 und 9.7.1984 durchgeführte Bonitur der Chlorosestärke brachte folgendes Ergebnis:

Variante	Boniturklasse			
	29.6.1983		9.7.1984	
	von-bis	Ø	von-bis	Ø
1 (unbehandelt)	0,5 - 2	0,92	0 - 4	1,49
2 (Grünsalz-Depot)	0,5 - 2	0,83	0 - 3	1,68
3 (Torf + Grünsalz)	0,5 - 1,5	0,66	0 - 2	0,99
4 (Grünsalz üb.Einstiche)	0,5 - 2	0,81	0 - 4	1,58
5 (Sequestren)	0,5 - 3	0,57	0 - 3	1,38

Die beste prophylaktische Wirkung war in den Varianten 3 (Torf-Grünsalz-Gemisch in Pflugfurche) und 5 (Sequestren gelant) festzustellen, wenn auch die Differenz zur Kontrolle statistisch nicht gesichert war. Die Wirkung des hoch mit Grünsalz angereicherten Torfs blieb, schon wegen der allgemein nur schwachen Chlorose, hinter den Erwartungen zurück. Schäden an den Reben wurden nicht beobachtet.

#### E) Rehlingen II

Charakterisierung der Versuchsfläche (s. auch Kap. 2.3): schwach hängig; Rebsorte Elbling, gepfropft auf 5 BB, 25 Jahre alt; Gassenbreite 1,20 m; Stockabstand 1 m; je Variante 1 Reihe mit 35 Reben, durch je eine unbehandelte Reihe getrennt. Varianten:

1. Kontrolle
2. Pflugfurche mit Torf-Grünsalzgemisch, s. Versuch D, Variante 3.
3. Pflugfurche mit Torf gefüllt (160 Liter je laufendem Meter Rebzeile) und zugepflügt
4. Grünsalz über Spateneinstiche appliziert, s. Versuch D, Variante 4.

Der Versuch begann am 14.4.1983. Am 29.6.1983 und 9.7.1984 wurde folgende Chlorosestärke bonitiert (s. folgende Seite oben): Die Chlorose war zu beiden Terminen nur schwach ausgeprägt. Ein positiver Effekt des Grünsalzes war nur am 29.6.1983 in Variante 2 (Torf-Grünsalz-Gemisch in Pflugfurche) zu erkennen. Der gerade in

Variante	Boniturklasse			
	29.6.1983		9.7.1984	
	von-bis	Ø	von-bis	Ø
1 (unbehandelt)	0,5 - 3,5	0,84	0 - 2	1,1
2 (Torf + Grünsalz)	0,5 - 1,5	0,56	1	1,0
3 (Torf)	0,5 - 2,5	0,73	1	1,0
4 (Grünsalz)	0,5 - 3,0	0,77	0 - 2	1,0

dieser Variante erhoffte starke Effekt trat, ähnlich wie im vorigen Versuch (Rehlingen I), nicht auf. Der Unterschied zur Variante 3 (Torf allein) war nicht bedeutend. Durch Grünsalz verursachte Schäden konnten an den Reben nicht beobachtet werden.

#### F) Frei-Laubersheim II

Charakterisierung des Versuchsfelds (s. auch Kap. 2.3):  
 Flachlage; Rebsorte Müller-Thurgau, gepfropft auf 5 BB, 10 Jahre alt; Gassenbreite 1,60 m; Stockabstand 1,20 m; je Variante 2 Reihen mit je 20 Reben. Varianten:

1. Kontrolle
2. Bohrlöcher (in 40 cm Abstand vom Rebstock mit Erdbohrer ausgehoben, 15 cm Ø, 30 cm tief), vier je Rebe, mit Torf-Grünsalz-Gemisch (wie in Versuchen D und E) gefüllt. Das Torfgemisch wurde mit ca. 5 Liter Wasser je Bohrloch angefeuchtet
3. Wie Variante 2, jedoch reiner Weißtorf.

Der Versuch begann am 29.4.1983, als die ersten Augen bereits aufbrachen (Rebstadium 03). Obwohl also bereits ein kritisches Stadium erreicht war, traten an den Reben keine Schäden auf. Bonituren wurden am 23.5. und 19.7.1983 sowie am 10.7.1984 vorgenommen. Zu allen drei Terminen war die Chlorose nur sehr schwach ausgeprägt, zwischen den Varianten waren keine Unterschiede zu erkennen.

Die 1983 angelegten Versuche Rehlingen I + II und Frei-Laubersheim II lassen sich wie folgt bewerten: Der stark mit Grünsalz angereicherte Weißtorf zeigte in den Versuchsflächen Rehlingen I + II eine gewisse, in der Versuchsfläche Frei-Laubersheim II dagegen keinerlei Wirkung. Selbst wenn man berücksichtigt, daß die Chlorose 1983 und 1984 in den Versuchsflächen nur relativ schwach in Erscheinung trat, war die Wirkung des Torf-Grünsalz-Gemisches unbefriedigend. Schäden traten an den Reben jedoch nicht auf. Der grundlegende Gedanke, Depots mit hoher Grünsalzkonzentration im Boden chlorosegefährdeter Standorte anzulegen, wurde daher in den Freilandversuchen der folgenden Jahre beibehalten und zu einer praktikablen Methode weiterentwickelt (s. Kap.5).

#### 4. Einfluß von Grünsalz auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben (Vegetationsversuche im Gewächshaus)

Während die in Kap. 3.4.1 vorgestellten orientierenden Gefäßversuche Aufschluß über die optimale Art der Grünsalzaapplikation und über die von der Rebe tolerierte Grünsalzmenge im Boden geben sollten, geht es in den jetzt folgenden Versuchen darum, den Einfluß des Grünsalzes auf das Wachstum und den Nährstoffgehalt der unter- und oberirdischen Reibteile zu klären. Dazu wurden Versuche mit verschiedenen Substraten (Nährlösung, Quarzsand, Boden u.a.) durchgeführt.

##### 4.1 Einfluß verschiedener Eisenverbindungen auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben aus Nährlösung

###### 4.1.1 Quarzsandkultur-Versuche

Problemstellung und Versuchsziel: Geklärt werden sollte, wie sich Grünsalz im Vergleich zu anderen Eisendüngern (Eisencitrat, Sequestren) auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben auswirkt. Die Quarzsandkultur bot den Vorteil, daß der Einfluß störender Bodenbestandteile (anorganische und organische Sorptionskomplexe; Salze usw.) ausgeschaltet werden konnte.

###### Versuch A:

Versuchsanlage: Einjährige Reben der Sorte Riesling; 3-Liter-Plastiktöpfe; 8 Wiederholungen je Variante; ansonsten s. Kap. 2.5. Von den verschiedenen Eisendüngern wurde der Fe-freien Nährlösung jeweils eine 2 mg Fe/l entsprechende Menge zugesetzt. Dies entsprach einer Grünsalzmenge von 100 mg/10 l. Höhere Grünsalzgaben (200 mg/10 l) schädigten die Rebwurzeln bereits (Symptom: Grauverfärbung). Varianten:

1. Nährlösung + Eisencitrat (Kontrolle)
2. wie 1, + Kalk ( $\text{CaCO}_3$ , gefällt, reinst)
3. Nährlösung + Grünsalz (Quickfloc)
4. wie 3, + Kalk
5. Nährlösung + Sequestren-138-Fe
6. wie 5, + Kalk
7. Weißtorf + Nährlösung + Grünsalz

In Variante 7 wurden Quarz und Torf im Volumenverhältnis 3 : 1 gemischt. In den Kalkvarianten waren die Töpfe mit einer Plastikfolie abgedeckt. Dadurch sollte der Gas- (insbesondere der  $\text{CO}_2$ -) Austausch erschwert und die Chlorose gefördert werden. Wöchentlich wurden je Gefäß 5 g Kalk auf den Quarzsand gestreut und mit der Nährlösung eingewaschen. Der Versuch begann am 4.6.1981 und dauerte 8 Wochen.

Ergebnisse: Die in Tab.23 zusammengestellten Versuchsergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren: Die Produktion an Sproß- und Wurzelmasse war am größten in Variante 5 (Sequestren). Hier hatten die Blätter die intensivste Grünfärbung (s. Boniturklasse). Dennoch war ihr Eisengehalt niedriger als in der Kontrolle. Nur die Wurzeln wiesen einen stark erhöhten Eisengehalt auf (420 mg/kg). In Variante 6 (Sequestren + Kalk) war das Rebwachstum zwar deutlich, der Eisengehalt jedoch nicht reduziert und die Chlorose nicht verstärkt. Hierdurch unterschied sich Sequestren von Eisencitrat



Tab. 23 : Einfluß von verschiedenen Eisendüngern, Kalk und Torf auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben in Quarzsand (4.8.1981)

Vari- ante	Trieb- länge (cm)	Boni- tur- klas- se	Reb- teil	Ge- wicht (g)	Fe ges.	HCl	Mn	Zn	Cu
							mg/kg		
1. Fe- Citr.	117	1	Spreiten	4,1	111	64	89	27	3,8
			Stiele	0,53	23	37	33	1,1	
			Holz	2,7	17	12	12	1,2	
			Wurzeln	0,32	178	73	44	7,9	
2. Fe- Citr. + Kalk	70	1-2	Spreiten	2,4	79 <sup>***</sup>	49 <sup>**</sup>	64	33	5,4 <sup>**</sup>
			Stiele	0,27	18 <sup>*</sup>	13 <sup>**</sup>	23 <sup>*</sup>	1,6 <sup>**</sup>	
			Holz	1,1	17	7,3 <sup>*</sup>	9,5	1,8	
			Wurzeln	0,29	51	37	31	18	
3. Grün- salz	109	1	Spreiten	3,8	99	66	74	29	4,6
			Stiele	0,46	21	20 <sup>*</sup>	23 <sup>**</sup>	1,5 <sup>*</sup>	
			Holz	2,2	29 <sup>***</sup>	11	9,7	1,4	
			Wurzeln	0,29	121	83	33	11,7	
4. Grün- salz + Kalk	94	1-3	Spreiten	2,8	88 <sup>*</sup>	48 <sup>**</sup>	87	57 <sup>***</sup>	4,3
			Stiele	0,32	14 <sup>***</sup>	21	28	1,6 <sup>***</sup>	
			Holz	1,4	28 <sup>*</sup>	11	6,4	2,1 <sup>*</sup>	
			Wurzeln	0,48	50 <sup>*</sup>	38	15 <sup>**</sup>	14	
5. Se- ques- tren	111	0-1	Spreiten	5,7	91	73	32 <sup>***</sup>	14 <sup>**</sup>	4,4
			Stiele	0,67	35	11 <sup>**</sup>	16 <sup>***</sup>	1,4	
			Holz	3,3	30 <sup>*</sup>	6,4 <sup>**</sup>	2,8 <sup>*</sup>	2,3 <sup>***</sup>	
			Wurzeln	0,76	420	49	24 <sup>*</sup>	10	
6. Sequ. + Kalk	93	0-1	Spreiten	3,5	87 <sup>**</sup>	71	37 <sup>**</sup>	14 <sup>**</sup>	3,6
			Stiele	0,33	31 <sup>*</sup>	11 <sup>**</sup>	15 <sup>***</sup>	1,2	
			Holz	1,5	33 <sup>**</sup>	6,1 <sup>*</sup>	3,4 <sup>*</sup>	1,7	
			Wurzeln	0,30	411	26	15 <sup>**</sup>	8,1	
7. Torf + Grün- salz	142	1	Spreiten	4,2	131	89	348 <sup>***</sup>	27	5,6
			Stiele	0,60	23	166 <sup>***</sup>	61 <sup>***</sup>	1,7	
			Holz	3,6	38 <sup>***</sup>	35 <sup>***</sup>	52 <sup>***</sup>	1,2	
			Wurzeln	0,36	90	302 <sup>**</sup>	75 <sup>**</sup>	3,3	

und Grünsalz, deren Wirksamkeit in Gegenwart von Kalk stark nachließ. Der Eisengehalt (auch das in 0,5 n HCl lösliche Fe) der Blattspreiten und -stiele, vor allem aber der Wurzeln, in den Varianten 1 bis 4 korrelierte mit der Chlorosestärke. Der negative Einfluß des Kalks auf Trieblänge und Pflanzenmasse ist in den Varianten 2, 4 und 6 deutlich zu erkennen. Der Fe-, Mn-, und Zn-Gehalt der Wurzeln war in den Kalk-Varianten deutlich niedriger. Der Mn-Gehalt der Wurzel und der Mn- und Zn-Gehalt des Sprosses

fiel in den Sequestren-Varianten gegenüber den Eisencitrat- und Grünsalzvarianten deutlich ab, was auf eine Behinderung der Mn-Aufnahme bzw. -Translokation durch Sequestren hindeutet. In Variante 7 (Torf + Grünsalz) wurden stark erhöhte Mn-Gehalte in Wurzel und Sproß nachgewiesen, die mit einem pH-Effekt (saure Reaktion des Torfs) erklärt werden können. Auch der Zn-Gehalt der Wurzeln war in dieser Variante erhöht, der Cu-Gehalt dagegen erniedrigt (starke Cu-Bindung an Torf?).

**Versuch B:**

Versuchsanlage: Der Versuch wurde wie der vorangegangene durchgeführt, jedoch mit folgenden Unterschieden: Statt der Rebsorte Riesling fand die wesentlich chloroseempfindlichere Huxel-Rebe (einjährig) Verwendung. Folgende Varianten (je 12 Wiederholungen) wurden angelegt:

1. Nährlösung + Eisencitrat (Kontrolle)
2. wie 1, jedoch + Kalk
3. Nährlösung + Grünsalz (Quickfloc)
4. wie 3, jedoch + Kalk
5. Nährlösung + Sequestren
6. wie 5, jedoch + Kalk

Der Versuch begann am 17.5.1982 und dauerte 14 Wochen.

Tab. 24 : *Einfluß verschiedener Eisendünger und von Kalk auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben in Quarzsand-Kultur (30.8.1982)*

Variante	Bonitur- klasse	Rebteil	Gewicht (g)	Fe	mg/kg		
					Mn	Zn	Cu
1. Fe- Citrat	0-3	Spreiten	11	59	51	12	1,2
		Wurzeln	1,2	191	70	50	12
2. Fe-Citr. + Kalk	1-5	Spreiten	5,4 <sup>***</sup>	69	57	16	1,5
		Wurzeln	1,2	101 <sup>***</sup>	37 <sup>**</sup>	33 <sup>**</sup>	11
3. Grün- salz	0-3	Spreiten	9,5	65	48	11	0,75
		Wurzeln	0,78 <sup>**</sup>	240	47 <sup>*</sup>	37 <sup>*</sup>	8,2 <sup>**</sup>
4. Grüns. + Kalk	1-5	Spreiten	6,0 <sup>***</sup>	74	79 <sup>***</sup>	18 <sup>**</sup>	1,3
		Wurzeln	1,4	131 <sup>**</sup>	26 <sup>***</sup>	25 <sup>**</sup>	7,3 <sup>**</sup>
5. Seques- tren	0-1	Spreiten	10	67	38 <sup>*</sup>	19 <sup>***</sup>	2,8 <sup>**</sup>
		Wurzeln	1,5 <sup>*</sup>	472 <sup>***</sup>	83	40	16
6. Sequest. + Kalk	0-1	Spreiten	8,4 <sup>**</sup>	51	34 <sup>*</sup>	14	2,5 <sup>**</sup>
		Wurzeln	1,5	550 <sup>***</sup>	60	20 <sup>***</sup>	16

Tab.24 : Fortsetzung

Variante	Rebteil	P	Ca	Mg	K	P/Fe
				%		
1. Fe-Citrat	Spreiten	0,55	0,49	0,25	5,0	93
	Wurzeln	0,39	1,1	0,25	4,8	20
2. Fe-Citrat + Kalk	Spreiten	0,23 <sup>****</sup>	0,74 <sup>****</sup>	0,32 <sup>*</sup>	6,6	33
	Wurzeln	0,20 <sup>****</sup>	1,1	0,34 <sup>****</sup>	5,5	20
3. Grünsalz	Spreiten	0,55	0,52	0,20 <sup>***</sup>	5,4	85
	Wurzeln	0,39	1,0	0,24	4,5	16
4. Grünsalz + Kalk	Spreiten	0,24 <sup>****</sup>	0,78 <sup>****</sup>	0,23	6,5	32
	Wurzeln	0,21 <sup>****</sup>	1,1	0,30	4,2	16
5. Sequestren	Spreiten	0,29 <sup>****</sup>	0,51	0,16 <sup>****</sup>	4,9	43
	Wurzeln	0,35	0,88 <sup>*</sup>	0,25	4,0 <sup>*</sup>	7,4
6. Sequestren + Kalk	Spreiten	0,13 <sup>****</sup>	0,51	0,18 <sup>****</sup>	4,0	26
	Wurzeln	0,12 <sup>****</sup>	0,77 <sup>**</sup>	0,17 <sup>****</sup>	3,7 <sup>*</sup>	2,2

**Ergebnisse:** Die Versuchsergebnisse sind in Tab.24 zusammengestellt. Wie schon in Versuch A war die Grünfärbung der Blätter am intensivsten in den Sequestren-Varianten (5 und 6). Der Fe-Gehalt der Rebwurzeln war in dieser Variante wiederum auffällig hoch (472 - 550 mg/kg). Die Sproßmasse nahm in den Varianten 2 und 4 deutlich ab. Wie schon im vorangegangenen Versuch war bei Anwesenheit von Kalk in der Nährlösung Sequestren erheblich effektiver als Eisencitrat oder Grünsalz. Dies zeigte sich vor allem daran, daß in Variante 6 keine Chlorose auftrat. In den stärker chlorotischen Blattspreiten der Varianten 2 und 4 war der Fe-, Mn-, Zn-, Cu-, Ca-, Mg- und K-Gehalt erhöht (vergl. Kap. 1.1.2), P dagegen erniedrigt. Das P/Fe-Verhältnis war in den chlorotischen Blättern deutlich verengt. In den Wurzeln war das P/Fe-Verhältnis wesentlich enger als in den Blättern. Dies gilt ganz besonders für die Sequestren-Varianten. Hinweise, daß P bei der Auslösung der Chlorose eine Rolle spielte, ergeben sich aus den Versuchsergebnissen nicht. In den Sequestren-Varianten war der Mn-Gehalt der Blätter, wie schon im vorigen Versuch, deutlich niedriger als in den Eisencitrat- und Grünsalz-Varianten. Der Fe-, Mn- und Zn-Gehalt der Wurzeln sank in den Kalkvarianten deutlich ab (Ausnahme: hoher Fe-Gehalt in Variante 6).

#### 4.1.2 Hydrokulturversuche

Die Hydrokulturversuche mit substratfreier Nährlösung wurden mit der gleichen Zielsetzung wie die Quarzsandversuche angelegt, boten aber den Vorteil, das Wurzelwachstum unmittelbar verfolgen zu können. Zusätzlich zu den schon in Kap. 4.1.1 beschriebenen

Variante wurde eine Eisenmangel-Variante angelegt, um absoluten und Kalk-induzierten Eisenmangel vergleichen zu können.

#### Methodik des Hydrokulturversuchs:

Rebstecklinge mit mehreren Internodien (Länge: ca. 30 cm) wurden bis auf das oberste Auge geblendet und am unteren Ende in einem Torf-Boden-Gemisch zur Bewurzelung gebracht. Nach vorsichtigem Säubern des Wurzelballens und Zurückschneiden der Wurzeln auf 2 - 3 cm Länge wurden die Reben in Hydrokultur-Wannen (Innenmaße: 56 x 36 x 22 cm) eingesetzt. Durch Umwälzen der Nährlösung (je Wanne eine Heissner P 14-Pumpe mit einer Leistung von 40 Liter/min) erfolgte eine intensive Belüftung. Jede Wanne enthielt 20 Liter Nährlösung, deren pH auf > 5,5 eingestellt und die wöchentlich erneuert wurde.

#### **Versuch A**

Versuchsordnung: Im vorliegenden Versuch wurden einjährige Reben der Sorte Riesling verwendet. Varianten:

1. Nährlösung ohne Eisenzusatz (Eisenmangel-Variante)
2. " + Eisencitrat
3. " + Sequestren
4. " + Grünsalz (Quickfloc)
5. " + Grünsalz + Kalk ( $\text{CaCO}_3$ , gefällt, reinst)

Von den Eisendüngern wurde der Fe-freien Nährlösung jeweils eine 2 mg Fe/l entsprechende Menge zugesetzt (vergl. Kap. 4.1.1, Versuch A). In Variante 5 wurden 10g Kalk je 10 Liter Nährlösung zugesetzt. Der Versuch begann am 5.6.1981 und dauerte 8 Wochen. Aus den einzelnen Varianten (je 1 Wanne mit 6 Reben) wurden Mischproben entnommen.

Ergebnisse: Die Versuchsergebnisse sind in Tab.25 zusammengestellt. Die Sequestren-Variante (3) zeigte als einzige keinerlei Chlorosesymptome, Grünsalz (Variante 4) war in seiner Chlorosevorbeugenden Wirkung etwa mit Eisencitrat (Variante 2) vergleichbar. Die Pflanzenmasse war am größten in der Sequestren-Variante. In Gegenwart von Kalk fiel die Wirkung von Grünsalz stark ab (s. Chlorosegrad sowie Wurzel- und Sproßmasse in Variante 5), so daß fast das Niveau der Eisenmangel-Variante (1) erreicht wurde. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Wurzeln in der Nährlösung kein spezielles Milieu (z.B. abgesenktes pH) an der Wurzeloberfläche herstellen konnten. Die Wurzelmasse in Variante 3 (Sequestren) war auffällig groß. Auch in Variante 1 war die Wurzelproduktion relativ hoch, die Wurzeln waren oft verdickt. Auffällig hoch war der Eisengehalt der Wurzeln in den Varianten 2 bis 5. Er lag erheblich über den in den Quarzsand-Versuchen (Kap.4.1.1) gefundenen Werten. Der Eisengehalt der oberirdischen Rebeile war in der Eisenmangel-Variante z.T. sogar größer als derjenige der Sequestren-Variante ("Konzentrations"-Effekt durch geringere Sproßmasse?). Der stark erhöhte Mn- und der deutlich erhöhte Zn- und Cu-Gehalt der Sproßteile in Variante 1 können zumindest teilweise auf das Fehlen des Antagonisten Fe zurückgeführt werden. Auffällig ist der niedrige Mn-Gehalt der oberirdischen Rebeile in Variante 3 (vergl. auch Kap. 4.1.1). Eine eindeutige Beziehung zwischen der Chlorosestärke und dem Eisengehalt der Blätter bestand, außer bei Sequestren, nicht.

Tab. 25 : Einfluß verschiedener Eisendünger auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben in Hydrokultur (5. 8. 1981)

Vari- ante	Bonitur- klasse	Rebteil	Gewicht (g)	Fe	mg/kg			Cu
					Mn	Zn		
1. Fe- Mangel	2-4	Spreiten	9,1	85	595	64	9,6	
		Stiele	1,0	174	313	129	4,5	
		Ranken	0,60	27	347	68	6,6	
		Holz	5,2	157	155	138	7,8	
		Wurzeln <sup>1)</sup>	0,87	180	369	915	94	
2. Fe- Citrat	1-2	Spreiten	18	79	246	48	5,2	
		Stiele	2,4	21	104	45	2,3	
		Ranken	1,6	88	114	53	7,3	
		Holz	14	31	40	41	3,1	
		Wurzeln	0,92	1045	104	101	27	
3. Seques- tren	0	Spreiten	25	126	71	32	4,2	
		Stiele	3,4	35	18	22	1,7	
		Ranken	2,2	72	62	34	2,9	
		Holz	18	32	15	19	2,1	
		Wurzeln	1,2	790	167	131	17	
4. Grün- salz	1-3	Spreiten	19	66	179	34	3,7	
		Stiele	2,6	28	77	44	1,7	
		Ranken	2,8	28	82	35	3,1	
		Holz	18	42	41	38	2,8	
		Wurzeln	0,34	1172	168	134	31	
5. Grün- salz + Kalk	2-3	Spreiten	9,7	75	249	38	5,4	
		Stiele	1,2	16	105	31	1,9	
		Ranken	0,9	37	101	33	3,4	
		Holz	6,5	18	45	23	2,6	
		Wurzeln	0,5	805	201	60	24	

<sup>1)</sup> junge, helle Abschnitte

#### Versuch B

Versuchsordnung: Der Versuch wurde mit einjährigen Reben der Sorte Riesling durchgeführt, Technik wie in Versuch A. Varianten:

1. Nährlösung ohne Eisenzusatz (Eisenmangel-Variante)
2. " + Grünsalz (Ferrogranul 20).

Zur applizierten Grünsalzmenge s. Versuch A. Der Versuch begann am 24.6.1983 und dauerte 15 Wochen.

Ergebnisse: Die Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 26 zusammengestellt. Sie lassen folgendes erkennen: In der Eisenmangel-Variante trat deutliche bis sehr starke Chlorose auf, während die Grünsalz-Variante praktisch chlorosefrei war. Der Fe-Bedarf der Reben wurde also offensichtlich gedeckt. Die Wurzel- und Blattmasse war in Variante 2 deutlich größer, der Fe-, Mn-, Zn- und Cu-Gehalt

dagegen erheblich niedriger. Der hohe Fe-Gehalt in den Blattspreiten der Mangel-Variante überrascht, dürfte aber z.T. auf einem Konzentrationseffekt (geringere Blattmasse) zurückzuführen sein. Der hohe Mn-Gehalt könnte durch die mangelnde Konkurrenz des Eisens bedingt gewesen sein (vergl. Versuch A).

Tab.26 : Einfluß von Grünsalz auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben in Hydrokultur (13.10.1983)

Variante	Bonitur- klasse	Rebteil	Gewicht (g)	Fe	Mn mg/kg	Zn	Cu
1. Fe- Mangel	3-5	Spreiten Wurzeln	2,7 1,3	255	499	59	9,9
2. Grün- salz	0-1	Spreiten Wurzeln	13**** 4,3****	70****	159****	28****	4,6****

### Versuch C

**Versuchsordnung:** Durchführung wie in Versuch A. Als Versuchspflanzen dienten einjährige Reben der für ihre Chloroseempfindlichkeit bekannten Sorte Huxel. Varianten:

1. Nährlösung + Eisencitrat (Kontrolle)
2. wie 1, + Kalk
3. Nährlösung + Grünsalz (Quickfloc)
4. wie 3, + Kalk
5. Nährlösung + Sequestren
6. wie 5, + Kalk

Der Versuch begann am 21.5.1982 und dauerte 8 Wochen.

**Ergebnisse:** Völlig chlorosefrei war, wie Tab. 27 zeigt, Variante 5 (Sequestren), die auch das höchste Blattgewicht hatte. Durch Zusatz von Kalk wurde die Wirksamkeit von Sequestren kaum herabgesetzt, wie man an Boniturklasse und Pflanzenmasse in Variante 6 sieht. Grünsalz und Eisencitrat unterschieden sich in ihrem Einfluß auf Chlorosestärke und Pflanzenmasse nicht wesentlich. In Gegenwart von Kalk (Varianten 2 und 4) ließ ihre Wirkung stark nach, was in einer Verstärkung der Chlorose, in Wachstumsdepressionen und einer Abnahme des Eisengehalts der Wurzeln resultierte. In Variante 6 (Sequestren + Kalk) nahm der Eisengehalt der Wurzeln gegenüber Variante 5 dagegen noch zu. Die Blätter der Sequestren-Varianten hatten bei geringstem Chlorosegrad die höchsten Eisengehalte. Bei den übrigen Varianten bestand dagegen keine eindeutige Beziehung zwischen diesen beiden Parametern. Der Mn-Gehalt der Blätter und meist auch der Wurzeln nahm in Gegenwart von Kalk erheblich ab. In den Sequestren-Varianten war der Mn-Gehalt der Blattspreiten auffällig reduziert (vergl. vorangegangene Versuche dieses Kapitels sowie von Kap. 4.1.1). In den Kalkvarianten war der P-Gehalt und das P/Fe-Verhältnis der Blätter und meist auch der Wurzeln erniedrigt bzw. verengt. Besonders stark war dies in Variante 6 der Fall (vergl. auch Tab. 24).

Tab. 27 : Einfluß verschiedener Eisendünger und von Kalk auf das Wachstum sowie den Fe- und Mn-Gehalt von Reben in Hydrokultur (21.7.1982)

Variante	Bonitur- klasse	Rebteil	Gewicht (g)	Fe mg/kg	Mn
1. Eisencitrat (Kontrolle)	2-4	Spreiten Wurzeln	7,0 0,92	102 1560	145 91
2. Eisencitrat + Kalk	2-5	Spreiten Wurzeln	2,9** 0,14***	76*** 294****	48**** 35**
3. Grünsalz	2-3	Spreiten Wurzeln	5,5 0,41***	91 860***	155 70
4. Grünsalz + Kalk	2-5	Spreiten Wurzeln	2,2*** 0,23***	94 472***	84* 135
5. Sequestren	0	Spreiten Wurzeln	9,9 1,5	219**** 755***	76**** 120
6. Sequestren + Kalk	0-1	Spreiten Wurzeln	9,5 1,6*	244**** 788***	27**** 67

Tab. 27 : Fortsetzung

Variante	Gehalt in der Blattspreite				P/Fe
	P	Ca	Mg	K	
1. Eisencitrat	1,5	0,94	0,38	2,8	147
2. Eisencitrat + Kalk	1,2	0,69****	0,28****	3,8*	158
3. Grünsalz	1,5	0,86	0,31****	2,9	165
4. Grünsalz + Kalk	1,2	0,89	0,30****	4,2*	128
5. Sequestren	0,93****	0,78****	0,28****	2,6	43
6. Sequestren + Kalk	0,24****	0,70****	0,25****	2,3****	9,8

#### 4.1.3 Kapitel-Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Quarzsand- und Hydrokulturversuchen können folgendermaßen zusammengefaßt werden: Von den drei Eisendüngern Eisencitrat, Grünsalz und Sequestren förderte Sequestren das Wurzel- und Sproßwachstum der Reben am stärksten. Auch die

Chlorose war gegenüber Grünsalz- oder Eisencitraternährung schwächer. Besonders stark traten diese Unterschiede hervor, wenn der Nährlösung Kalk zugesetzt wurde. Während die Wirksamkeit von Sequestren unter diesen Bedingungen kaum eingeschränkt war, wurde in den Grünsalz- und Eisencitrat-Varianten ein verstärktes Auftreten der Chlorose, ein deutlich reduziertes Wurzel- und Sproßwachstum und ein merklich reduzierter Eisengehalt in Wurzeln und z.T. auch Blättern festgestellt. Bei Anwesenheit von Sequestren in der Nährlösung war der Mn-Transport in die Rebblätter reduziert, während bei Fe-Mangel der Mn-Gehalt der Blattspreiten stark zunahm, beides Hinweise für einen Fe-Mn-Antagonismus. Eine eindeutige Beziehung zwischen dem Chlorosegrad und dem Fe-Gehalt der Blätter bestand nicht, nur in den Sequestren-Varianten hatten die intensiv grünen Blätter vielfach deutlich erhöhte Eisengehalte. Der P-Gehalt und das P/Fe-Verhältnis in Wurzeln und Blättern lieferte keine Hinweise dafür, daß P für die Auslösung der Chlorose von Bedeutung war. - Aufgrund der Quarzsand- und Hydrokultur-Versuche müßte man eine schlechte Wirksamkeit von Grünsalz in Kalkböden erwarten. Die Ergebnisse können jedoch nicht unmittelbar übertragen werden. Die Möglichkeit für die Wurzel, den Chemismus der wurzelnahen Zone (Rhizosphäre) zu beeinflussen, nimmt nämlich in der Reihenfolge der Substrate Nährlösung - Quarzsand + Nährlösung - Boden stark zu. Daher war die Durchführung von Gefäßversuchen mit Kalkboden erforderlich, über die im folgenden Kapitel berichtet wird.



#### 4.2. Einfluß von verschiedenen Eisendüngern, Torf, Tresterkompost und Rindenkompost auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Reben aus Kalkboden

Problemstellung und Versuchsziel: Untersucht werden sollte das Rebwachstum, die Chlorose-mindernde Wirkung und die Aufnahme von Eisen und anderen Nährstoffen aus Kalkboden nach Düngung mit Grünsalz. Von besonderem Interesse war es, reines Grünsalz mit Mischungen aus Grünsalz und organischen Düngern zu vergleichen. Dabei wurde nach dem Prinzip der Depotdüngung verfahren (s. Kap. 3.4.1.1).

##### Versuch A

Versuchsanlage: 3-Liter-Plastiktöpfe wurden wie in Abb.5 gezeigt durch ein Polyethylengewebe (lichte Maschenweite : 2,4 mm) in Zentrum und Peripherie unterteilt. Das Zentrum wurde mit Kalkboden gefüllt und mit je einer einjährigen Rebe der Sorte Riesling bepflanzt, die Peripherie wurde mit verschiedenen Substraten gefüllt. Varianten:

Nr.	Zentrum	Peripherie (Depot)
1	1400 g Kalkboden	1600 g Kalkboden (Kontrolle)
2	" " "	wie 1, + 15 g Grünsalz
3	" " "	95 g Torf (TG)
4	" " "	wie 3, + 0,72 g Grünsalz (Quickfloc)
5	" " "	57 g Torf + 125 g Tresterkompost
6	" " "	wie 5, + 0,43 g Grünsalz
7	" " "	57 g Torf + 340 g Rindenkompost (TG)
8	" " "	wie 7, + 0,43 g Grünsalz

In den Varianten 5 und 7 wurde naturfeuchter Weißtorf erst mit Grünsalz, dann mit Trester- bzw. Rindenkompost vermischt. Versuchsboden: Mittel Nr.1231 (s. Kap. 2.2); Tresterkompost (noch nicht

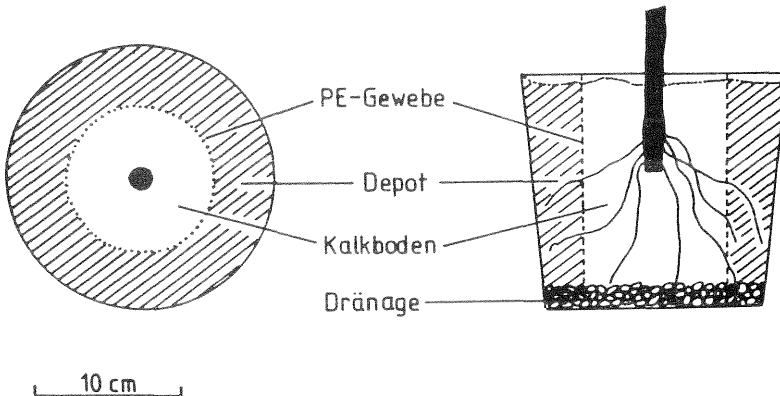


Abb.5 : Versuchsgefäße in Aufsicht und Längsschnitt

voll ausgereift) und Rindenkompost (aus Weichhölzern) waren bei der Kompostierung mit Kalk vermischt worden. Gegossen wurde mit eisenfreier Nährlösung. Jede Variante hatte 10 Wiederholungen. Der Versuch begann am 11.5.1982 und dauerte 18 Wochen.

Ergebnisse: Die Versuchsergebnisse sind in Tab.28 zusammengestellt. In den ersten Versuchswochen blieben die Reben in den Tresterkompost-Varianten (5 und 6) auffällig im Wachstum zurück. Bis zum 1.9.1982. war dieser Rückstand, wie Tab.28 zeigt, jedoch weitgehend aufgeholt. Nennenswerte Chlorose trat nur in der Kontrolle auf. Das höchste Blatt- und Wurzelgewicht zeigten die Torf-Varianten (3 und 4). Der Fe-Gehalt der Blattspreiten war in der Grünsalz-Variante (2) sowie in den Torf-, Trester- und Rindenkompost-Varianten deutlich höher als in der Kontrolle. Die Grünsalzbeimengung zu den organischen Düngern brachte eine Erhöhung des Fe-Gehalts in den Wurzeln, z.T. auch in den Blättern, und eine Steigerung der Pflanzenmasse. Auffällig hoch war der Fe-Gehalt der Wurzeln in den Varianten 1 und 2 im Vergleich zu den Varianten 3 bis 8. Der Mn-Gehalt der Blattspreiten stieg in den beiden Rindenkompost-Varianten auf 917 bzw. 642 mg/kg und übertraf damit deutlich den Wurzelgehalt. Die Grünsalzdüngung bewirkte stets eine Abnahme der Mn-Gehalte in den Spreiten, meist auch eine solche in den Wurzeln (Antagonismus). Die Zn-Aufnahme wurde durch die Grünsalzdüngung kaum beeinflusst, dagegen stieg in den Rindenkompost-Varianten der Zn-Gehalt von Wurzeln und Blättern deutlich an. Der Cu-Gehalt der Rebwurzeln war in den Varianten 3 bis 8 auffällig niedrig, was vermutlich durch die Bindung von Cu an organische Substanz, vor allem Torf, bedingt war (vergl. Kap.4.1.1, Versuch A).

Von den 10 Gefäßen einer Variante blieben nach dem 1.9.1982 (Datum der Probenahme) jeweils 2 stehen. Anschließend wurde die Witterung merklich kühler und es trat verstärkt Chlorose auf, die jedoch von Variante zu Variante sehr unterschiedlich ausgeprägt war, wie die am 29.9.1982 durchgeführte Bonitur zeigt:

Variante (Nr. und Depot)	Bonitурklasse
1. Kalkboden	3-5
2. Kalkboden + Grünsalz	1-2
3. Torf	1-4
4. Torf + Grünsalz	1
5. Torf + Tresterkompost	2-4
6. Torf + Grünsalz + Tresterkompost	1-2
7. Torf + Rindenkompost	0-1
8. Torf + Grünsalz + Rindenkompost	0-1

Die Chlorose war also in den Varianten ohne Grünsalz-Düngung deutlich stärker. Die verschiedenen organischen Dünger schwächten die Chlorose nur wenig ab. Eine Ausnahme bildete aber der Rindenkompost, der auch ohne Grünsalzzusatz das Auftreten der Chlorose verhinderte.

Tab. 28 : Einfluß von Grünsalz-, Torf-, Tresterkompost- und Rindenkompost-Zusätzen zu Kalkboden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben (1.9.1982)

Variante (Nr., Depot)	Boni- tur- klas- se	Rebteil	Ge- wicht (g)	Fe	Mn	Zn	Cu
					mg/kg		
1. Boden (Kontrolle)	0-3	Spreiten	22	16	42	12	2,9
		Wurzeln <sup>1)</sup>	4,2	750	64	34	47
2. Boden + Grünsalz	0-1	Spreiten	20	42 <del>***</del>	33	24 <del>***</del>	5,0 <del>***</del>
		Wurzeln	4,8	795	59	21 <del>***</del>	36
3. Torf	0-1	Spreiten	26*	45 <del>***</del>	168 <del>***</del>	18 <del>***</del>	2,7
		Wurzeln	7,4 <del>***</del>	62 <del>***</del>	65	28	7,1 <del>***</del>
4. Torf + Grünsalz	0-1	Spreiten	28 <del>***</del>	69 <del>***</del>	146 <del>***</del>	15 <del>***</del>	2,4
		Wurzeln	7,7 <del>***</del>	194 <del>***</del>	62	30	7,2 <del>***</del>
5. Torf + Trester	0-1	Spreiten	21	53 <del>***</del>	143 <del>***</del>	14	2,3
		Wurzeln	5,3	131 <del>***</del>	73	37	8,6 <del>***</del>
6. Torf + Grün- salz + Trester	0-1	Spreiten	27	43 <del>***</del>	99 <del>***</del>	15	1,7 <del>***</del>
		Wurzeln	6,7	192 <del>***</del>	55	33	7,2 <del>***</del>
7. Torf + Rinde	0-1	Spreiten	22	61 <del>***</del>	917 <del>***</del>	32 <del>***</del>	2,7
		Wurzeln	5,5	359 <del>***</del>	429 <del>***</del>	84 <del>***</del>	8,3 <del>***</del>
8. Torf + Grün- salz + Rinde	0-1	Spreiten	21	62 <del>***</del>	642 <del>***</del>	21 <del>***</del>	2,3
		Wurzeln	6,2*	368 <del>***</del>	464 <del>***</del>	64 <del>***</del>	7,9 <del>***</del>

<sup>1)</sup> Angaben beziehen sich auf die ins Depot eingewachsenen Wurzeln

#### Versuch B

Versuchsanlage: Verfahren wurde wie in Versuch A. Der gleiche Versuchsboden sowie einjährige Reben der Sorte Riesling wurden verwendet. Statt des in Versuch A benutzten Rindenkomposts wurde "Humorind", ein ohne Kalkzusatz aus Weichholzrinde hergestelltes, relativ rohes Produkt, eingesetzt. Grünsalz (Ferrogranul 20) wurde mit dem angefeuchteten Substrat (Boden oder Torf) vermengt, Sequestren-138-Fe in Wasser gelöst und mit dem Boden vermischt. Der Versuch begann am 28.4.1983 und dauerte 15 Monate. Er hatte folgende Varianten (je 8 Wiederholungen):

Variante Nr.	Zentrum	Peripherie (Depot)
1	1400 g Kalkboden	2000 g Kalkboden (Kontrolle)
2	" " "	Weißtorf
3	" " "	Torf-Humorind-Gemenge (je 1 Vol.-Teil)
4	" " "	Humorind
5	" " "	2000 g Kalkboden + 3 g Sequestren
6	" " "	" " " + 53 g Grünsalz
7	" " "	" " " + 177 g Grünsalz
8	" " "	5 g Grünsalz/100 g lufttrockenem Torf
9	" " "	12,5 g Grünsalz/100 g Torf
10	" " "	50 g Grünsalz/100 g Torf

Ergebnisse: Die Ergebnisse aus den Versuchsjahren 1983 und 1984 sind in den Tab.29 - 31 zusammengestellt. Wenige Tage nach dem Einpflanzen der Reben traten in Variante 10 (500 g Grünsalz/kg Torf) stärkere Schäden (Welken; Gelbfärbung älterer Blätter) auf. Noch am 27.7.1983 war die Blattmasse gegenüber der Kontrolle stark reduziert. Im zweiten Versuchsjahr war der Unterschied in der Blattmasse geringer geworden, die Wurzelmasse war aber immer noch deutlich kleiner (s. Tab.30, 31). Ebenfalls beeinträchtigt war das Rebwachstum in den Varianten 3 (Torf + Humorind) und 4 (Humorind). In diesen beiden Varianten, vor allem in Variante 3, trat auch Chlorose auf, die aber nicht als typische "Kalkchlorose" bezeichnet werden kann. Der Mn-Gehalt der Wurzeln und Blätter war nämlich erheblich erhöht, der Fe-Gehalt der Wurzeln aber stark erniedrigt, was zu einem "physiologischen" (durch Antagonismus bedingten) Fe-Mangel führte. Die beste Chlorose-vorbeugende Wirkung hatten Sequestren, Grünsalz und Torf-Grünsalz-Gemische. Die Blattmasse war am größten in den Varianten 1, 2 und 8. Die aus dem Depot ausgewaschene Wurzelmasse war am größten in Variante 1. Signifikant niedriger war die Wurzelmasse in den Varianten 3 und 4, außerdem in Variante 5 (Sequestren; s. aber günstige Wirkung von Sequestren in den Quarzsand- und Hydrokultur-Versuchen, Kap.4.1).

Der Fe-Gehalt der Blätter war in den Grünsalz- und Sequestren-Varianten meist deutlich (und statistisch sehr gut gesichert) erhöht, die Beziehung zur Chlorosestärke war jedoch nicht immer eindeutig. Der Fe-Gehalt der Wurzeln war nach Grünsalz- und Sequestren-Düngung nur teilweise erhöht. Der Mn-Gehalt der Blattspreiten und Wurzeln sank vor allem in Variante 5 (Sequestren), derjenige der Wurzeln vor allem in den Grünsalz- und Torf-Grünsalz-Varianten (vergl. hierzu Kap. 4.1). Auf die Erniedrigung der Cu-Gehalte in den Torf-Varianten und seine Ursache wurde bereits in Versuch A eingegangen. Wegen der möglichen Bedeutung des Phosphats für die Entstehung der Chlorose ist der P-Gehalt und das P/Fe-Verhältnis in Blättern und Wurzeln von besonderem Interesse. Ein Vergleich von Variante 1 (Kalkboden) mit den Varianten 6 und 7 (Kalkboden + Grünsalz) zeigt, daß die Beziehung zwischen dem P-Gehalt bzw. dem P/Fe-Verhältnis der Reben und der Grünsalzdüngung nicht eindeutig war. Der K- und Ca-Gehalt der Blattspreiten wurde durch die Grünsalzdüngung nicht wesentlich beeinflusst, der Mg-Gehalt stieg z.T. (Variante 7) an. Der Ca- und

Tab. 29 : Einfluß von Grünsalz-, Sequestren-, Torf- und Rindenkompost-Zusätzen zu Kalkboden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben (27. 7. 1983)

Variante (Nr., Depot)	Boni- tur- klasse	P/Fe	Blattspreiten			
			Fe	Mn mg/kg	Zn	Cu
1. Boden (Kontrolle)	0-1	48	128	98	34	10
2. Torf	0	149	114	191***	31	3,3****
3. Torf + Humorind	2	82	122	2267****	52**	5,2****
4. Humorind	1	52	136	413****	42*	7,2*
5. Sequestren	0	36	173**	30****	36	12
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	0	40	150	60*	39	12
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	0	38	160**	158*	36	10
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	0	68	163**	89	31	5,3****
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	0	46	164**	93	44	8,1
10. 50 g Grüns./100 g Torf	0	40	171*	145*	37	7,8

Tab. 29 : Fortsetzung

Variante (Nr., Depot)	Gewicht (g)	P	Blattspreiten			Ca
			K	Mg	%	
1. Boden (Kontrolle)	11,6	0,61	1,8	0,50	0,69	
2. Torf	11,5	1,7****	2,4****	0,59*	0,83****	
3. Torf + Humorind	7,2****	1,0****	3,1****	0,58*	0,79**	
4. Humorind	8,0****	0,71****	2,5****	0,50	0,67	
5. Sequestren	9,3****	0,63	1,9	0,45	0,68	
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	9,0*	0,60	1,7	0,57	0,66	
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	8,0*	0,61	1,6	0,94****	0,57****	
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	11,0	1,1****	2,0****	0,51	0,65	
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	8,5****	0,75****	1,9	0,60*	0,64	
10. 50 g Grüns./100 g Torf	4,8****	0,68	1,7	0,67****	0,63	

Mg-Gehalt der Wurzeln nahm in den Torf-Grünsalz-Gemischen deutlich ab.

#### 4.2.1 Kapitel-Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Versuchen A und B lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die als Depot in den Kalkboden gebrachten organischen Dünger hatten entweder nur eine schwache Chlorose-mindernde Wirkung (Torf) oder schädigten die Reben (Tresterkompost, Humorind). Eine Ausnahme bildete ein unter Zusatz von Kalk hergestellter, reifer Rindenkompost (Versuch A), der eine gute Chlorosevorbeugende Wirkung hatte. Der Zusatz von Grünsalz zu Torf verbesserte die prophylaktische Wirkung erheblich, allerdings traten bei hoher Grünsalzkonzentration (500 g/kg Torf) Schäden an den

Tab. 30: Einfluß von Grünsalz-, Sequestren-, Torf- und Rindenkompost-Zusätzen zu Kalkboden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Reben (1.6.1984)

Variante (Nr., Depot)	Bonitur- klasse	P/Fe	Fe	Blattspreiten		
				Mn	Zn	Cu
				mg/kg		
1. Boden (Kontrolle)	3-4	144	69	49	50	11
2. Torf	2	82	83	74***	63	3,1****
3. Torf + Humorind	2-3	90	90	201****	110****	4,8****
4. Humorind	2	65	104****	143****	53	8,0
5. Sequestren	0	55	123****	20****	37*	11
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	2	69	108****	30**	61	11
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	1-2	64	110**	42	53	9,9
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	0	76	86	33**	38	3,9**
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	0	59	113****	48	57	5,6**
10. 50 g Grüns./100 g Torf	0-1	42	140****	44	40	6,0**

Tab. 30: Fortsetzung

Variante (Nr., Depot)	Gewicht (g)	Blattspreiten			
		P	K	Mg	Ca
		%			
1. Boden (Kontrolle)	6,3	1,0	2,8	0,45	0,54
2. Torf	6,7	0,68*	2,3	0,45	0,57
3. Torf + Humorind	3,6****	0,81	3,2	0,42	0,56
4. Humorind	4,9*	0,68*	3,3	0,30****	0,43
5. Sequestren	7,0	0,67*	2,5	0,31****	0,53
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	6,2	0,75	2,5	0,47	0,54
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	6,3	0,70*	2,3	0,51	0,49
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	10,4**	0,65*	2,4	0,32**	0,37**
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	8,9*	0,67*	2,7	0,40	0,45
10. 50 g Grüns./100 g Torf	6,9	0,59**	2,2*	0,36*	0,42

Reben auf Grünsalz allein (umgerechnet 9,4 - 89 g Grünsalz je kg Kalkboden) hatte eine etwas schwächere, Sequestren eine sehr gute Wirkung. In beiden Versuchen war nach Grünsalz-Applikation ein leichter bis deutlicher Anstieg des Fe-Gehalts in den Blättern festzustellen, die Beziehung zwischen Fe-Gehalt und Chlorosestärke war jedoch nicht immer eindeutig. Die Grünsalzdüngung bewirkte keine eindeutige Abnahme von P oder Verengung des P/Fe-Verhältnisses in der Rebe (s. Diskussion, Kap. 6.2). Vor der Einbringung "unreifer" Rinden- und Tresterkomposte in den Wurzelbereich muß gewarnt werden, da Schäden (Wachstumsdepressionen, Chlorose) an den Reben auftreten können. Auch hohe Grünsalzmengen (500 g /kg Torf) im Depot können, wie Versuch B gezeigt hat, das Rebwachstum beeinträchtigen.

Tab. 31: Einfluß von Grünsalz-, Sequestren-, Torf- und Rindenkompost-Zusätzen zu Kalkboden auf Wachstum und Nährstoffgehalt von Rebwurzeln (13. 8. 1984)

Variante (Nr., Depot)	Ge- wicht (g)	Mg	Wurzeln <sup>1)</sup>			
			Ca	K	Mn	Zn
			%		mg/kg	
1. Boden (Kontrolle)	4,6	0,45	1,6	2,5	126	107
2. Torf	2,3	0,31	1,0***	2,4	74**	80
3. Torf + Humorind	1,8*	0,34	1,1*	2,4	178**	205***
4. Humorind	1,5*	0,21***	1,1*	1,8	303***	194***
5. Sequestren	1,8*	0,29	1,4	1,7*	33***	93
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	2,7	0,30	1,3	2,0	59**	72*
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	2,6	0,40	1,0***	2,2	88**	61***
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	2,8	0,17***	0,7***	1,4***	48***	62***
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	2,7	0,19***	0,9***	1,7*	62***	52***
10. 50 g Grüns./100 g Torf	2,0	0,27***	0,9***	2,0	52***	59***

Tab. 31 : Fortsetzung

Variante (Nr., Depot)	P %	Wurzeln <sup>1)</sup>	
		Fe mg/kg	P/Fe
1. Boden (Kontrolle)	0,22	918	2,4
2. Torf	0,18	116***	15,5
3. Torf + Humorind	0,17	182***	9,3
4. Humorind	0,17	482*	3,5
5. Sequestren	0,16	767	2,1
6. 53 g Grüns./2 kg Boden	0,18	599**	3,0
7. 177 g Grüns./2 kg Boden	0,17	921	1,8
8. 5 g Grünsalz/100 g Torf	0,16	302	5,3
9. 12,5 g Grüns./100 g Torf	0,15	1846	0,8
10. 50 g Grüns./100 g Torf	0,16	2947	0,5

<sup>1)</sup> Angaben beziehen sich auf die ins Depot eingewachsenen Wurzeln

## 5. Feldversuche zur Vorbeugung der Chlorose mit Hilfe der Grünsalz-Depotdüngung

Die orientierenden Labor- und Gewächshausversuche, über die in Kap.3 berichtet wurde, haben gezeigt, daß hohe, als Depot in den Boden gebrachte Grünsalzmengen den besten Erfolg bei der vorbeugenden Behandlung der Rebchlorose versprechen. Nach diesem Prinzip durchgeführte orientierende Feldversuche ließen allerdings, da in den Versuchsflächen kaum Chlorose auftrat, noch kein Urteil über die Wirksamkeit der Grünsalz-Depotdüngung zu (s. Kap. 3.4.2). Die noch verbleibenden zwei Versuchsjahre wurden daher darauf verwandt, in diesem Punkt Klarheit zu schaffen. Dazu wurde folgendermaßen verfahren:

- 1) In den Gemarkungen Rehlingen (Obere Mosel) und Gau-Bickelheim (Rheinessen) wurde eine größere Zahl von Versuchsflächen ausgewählt, um die "Trefferquote" hinsichtlich des Auftretens der Chlorose zu erhöhen.
- 2) Grünsalz wurde in hohen Mengen nach dem Depot-Prinzip gedüngt. Die Düngung erfolgte unter praxisnahen Bedingungen.

### 5.1 Technik der Depotdüngung

Unter Mithilfe der Winzer\*) wurden folgende Verfahren entwickelt (Abb.6):

A) Pflugfurche: In ca. 40 cm Entfernung von der Rebzeile wurde in jeder Gasse eine Pflugfurche von 20 - 25 cm Tiefe gezogen (Abb.6 oben links). Nach dem Einfüllen des Grünsalzes (Quickfloc oder Ferrogranul 20) wurde die Furche wieder zugezogen. Auf diese Weise wurden die Versuchsflächen R 1 - R 10, R 13, R 14 und R 16 gedüngt.

B) Düngung in Kombination mit einem Tiefengrubber: Auf einen Tiefengrubber wurde eine eigens angefertigte Wanne aus Stahlblech (Fassungsvermögen: 250 kg Grünsalz) montiert, deren abgeschrägter Boden in zwei Rohre (4,5 cm InnenØ) auslief. Diese führten das Grünsalz hinter die beiden Grubberzähne, so daß es in etwa 20-25 cm Tiefe in den aufgerissenen Boden abgelegt wurde. (s. Abb.6 unten). Entfernung zur Rebzeile: s. Verfahren A. Im Gegensatz zu Verfahren A konnte nur rieselfähiges Grünsalz (Ferrogranul 20) verwendet werden. Die Dosierung erfolgte über zwei in die Zuleitungsrohre eingesetzte Schieber sowie über die Fahrgeschwindigkeit des Schmalspurschleppers (max. 1 km/h). Da mit jeder Fahrt zwei Grünsalz-Bänder ca. 40 cm von der Rebzeile entfernt in den Boden gelegt wurden, brauchte nur eine um die andere Reihe behandelt zu werden. Diese Methode wurde auf allen Flächen der Gemarkung Gau-Bickelheim angewandt.

---

\*) Den an den Versuchen in Nittel, Rehlingen, Frei-Laubersheim, Alsheim und Gau-Bickelheim beteiligten Winzern, insbesondere den Herren H. Frieden, M. Gier, J. Fisch, Chr. W. Bernhard, R. Hill, K. Bornheimer und H. H. Schwalbach-Bornheimer, sei an dieser Stelle herzlich für ihre Mitarbeit gedankt.



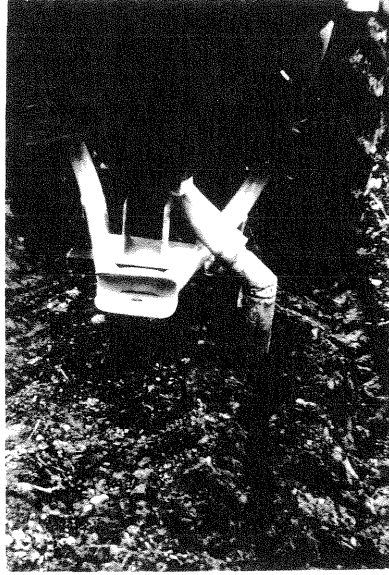
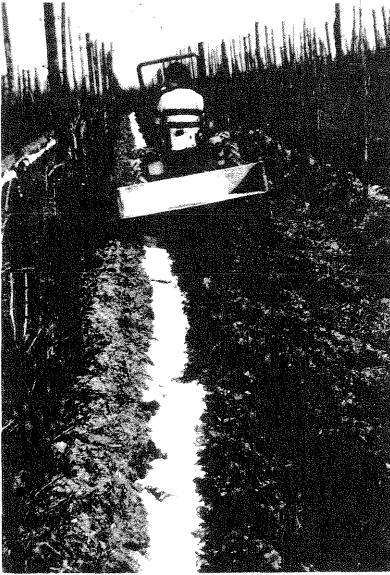


Abb. 6 : Einbringung des Grünsalz-Depots in den Boden  
oben links: Applikation über Pflugfurche  
oben rechts: umgerüsteter Düngerstreuer mit Pflugschar  
unten: umgerüsteter Tiefengrubber

C) Düngung in Kombination mit einem Düngerstreuer: Ein auf einen Schmalspurschlepper aufgesetzter Düngerstreuer wurde mit einer kleinen Pflugschar kombiniert (Abb.6 oben rechts). Das Grünsalz (Ferrogranul 20) lief durch ein hinter der Schar mündendes Rohr (7 cm InnenØ) in den aufgerissenen Boden. Die Dosierung des Grünsalzes erfolgte wie unter B beschrieben. Je Gasse wurde in 20 - 25 cm Tiefe ein Grünsalzband abgelegt. Dieses Verfahren wurde in den Versuchsflächen R 11, R 12 und R 15 praktiziert.

## 5.2 Versuchsflächen

Die 1984 und 1985 angelegten Versuchsflächen können folgendermaßen charakterisiert werden:

Ver- suchs- fläche Nr.	Alter der Anlage (Jahre)	Rebsorte	Unter- lage	Reihen- und Stock- abstand (m)	Stock- zahl je Vari- ante	Hang- neigung	Variante
<u>Rehlingen 1984</u>							
R 1	25	Elbling	5 BB	2,4/1	200 300	keine	unbehandelt Grünsalz
R 2	23	Elbling	3309	2,4/1	260 465	keine	unbehandelt Grünsalz
R 3	12	Elbling	3309	2,2/1	105 140	schwach. S-Hang	unbehandelt Grünsalz
R 4	15	Elbling	5 BB	2,2/1	390 357	keine	unbehandelt Grünsalz
R 5	20	Elbling	5 BB	2,2/1	200 236	25%	unbehandelt Grünsalz
R.6	20	Elbling	3309	2,4/1	400 400	keine	unbehandelt Grünsalz
R 7	9	Müller- Thurgau	5 BB	2/1	300 324	keine	unbehandelt Grünsalz
R 8	8	Müller- Thurgau	5 BB	1,8/1	149 144	keine	unbehandelt Grünsalz
R 9	8	Elbling	26 G	1,8/1,1	255 233	schwach	unbehandelt Grünsalz
<u>Rehlingen 1985</u>							
R 10	8	Elbling	5 BB	1,6/1	324 360	10%	unbehandelt Grünsalz

(Fortsetzung)

Ver- suchs- fläche Nr.	Alter der Anlage (Jahre)	Rebsorte	Unter- lage	Reihen- und Stock- abstand (m)	Stock- zahl je Vari- ante	Hang- neigung	Varianten
R 11	6	Müller- Thurgau	5 BB	2/1	400 400	keine	unbehandelt Grünsalz
R 12	5	Elbling	26 G	2/1	300 400	keine	unbehandelt Grünsalz
R 13	7	Elbling	5 BB	1,2/1	397 354	10%	unbehandelt Grünsalz
R 14	15	Elbling	5 BB	1,8/1	182 208	15% Seitenh.	unbehandelt Grünsalz
R 15	6	Elbling	5 BB	1,8/1	640 640	keine	unbehandelt Grünsalz
R 16	9	Elbling	5 BB	1,2/1	144 135	10%	unbehandelt Grünsalz

Gau-Bickelheim 1984

G 1	6	Scheu- rebe	125 AA	1,7/1,1	165 220 275	schwach	unbehandelt Grünsalz Sequestren
G 2	10	Scheu- rebe	125 AA	1,7/1,1	266 256 307	schwach	unbehandelt Grünsalz Sequestren
G 3	8	Müller- Thurgau	SO4	1,7/1,1	224 224 224	10%	unbehandelt Torf+Grüns. Sequestren
G 4	5	Müller- Thurgau	125 AA	1,8/1,2	450 425	keine	unbehandelt Grünsalz
G 5	5	Silvaner	125 AA	1,7/1,1	300 300	schwach	unbehandelt Grünsalz
G 6	10	Bacchus	125 AA	1,7/1,1	208 416	schwach	unbehandelt Grünsalz
G 7	6	Ortega	125 AA	1,8/1,1	540 360	15%	unbehandelt Grünsalz

(Fortsetzung)

Ver- suchs- fläche Nr.	Alter der Anlage (Jahre)	Rebsorte	Unter- lage	Reihen- und Stock- abstand (m)	Stock- zahl je Vari- ante	Hang- neigung	Varianten
G 8	10	Scheu- rebe	SO4	1,6/1	300 360 240	schwach	unbehandelt Grünsalz Sequestren
<u>Gau-Bickelheim 1985</u>							
G 9	6	Bacchus	125 AA	1,7/1,2	275 330	10%	unbehandelt Grünsalz
G 10	7	Müller- Thurgau	125 AA	1,7/1,2	505 808	keine	unbehandelt Grünsalz
G 11	10	Bacchus	125 AA	1,6/1,1	625 750	keine	unbehandelt Grünsalz
G 12	10	Scheu- rebe	SO4	1,5/1,2	440 440 440	10%	unbehandelt Grünsalz Sequestren

In der Regel wurden in den Grünsalz-Varianten Mitte März 2,5 kg Grünsalz je laufendem Meter Rebzeile in den Boden gebracht. In den Versuchsflächen G 9 - G 12 wurden 2 kg/m ausgebracht, da die Applikation zu einem relativ späten Zeitpunkt (Ende April) erfolgte und eine Schädigung der Reben vermieden werden mußte. Die Applikation des Sequestrens erfolgte ähnlich wie die Grünsalzdüngung: Sequestren (in Wasser gelöst) lief in den vom Tiefengrubber aufgerissenen Boden. Je Rebstock wurden ca. 15 g Sequestren appliziert.

### 5.3 Schädigung einer Rebanlage durch Grünsalz

In der Grünsalzvariante der Versuchsfläche R 15 traten Ende Juni 1985 überraschend Schäden an den Reben auf. Es war dies der einzige Schadensfall unter allen Freilandversuchen. Die Schäden äußerten sich in unterschiedlich starken Blattverbrennungen bzw. -nekrosen, die vor allem in den Interkostalfeldern auftraten und zum Blattrand hin zunahmen. Teilweise waren das junge Holz und die Blattadern dunkel verfärbt. Oft zeigten nur einzelne Triebe eines Rebstocks Schadsymptome. Das Ausmaß der Schäden geht aus Tab.32 hervor.

Tab. 32 : Durch Grünsalz hervorgerufene Schäden  
in der Versuchsfläche Rehlungen (R 15),  
aufgenommen am 3.7.1985

Geschädigte Blattfläche pro Rebe (%)	Anzahl der Reben	
	n	%
0	454	70,9
< 10	74	11,6
10 - 25	49	7,6
25 - 50	33	5,2
> 50	18	2,8
Pflanze letal geschädigt	12	1,9

Die Blattanalyse ergab folgende Werte:

Variante	Blätter	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn
unbehandelt	grün	0,76	0,17	1,5	101	163	58
Grünsalz	grün	0,78	0,20	1,5	135*	209	50
"	nekrotisch	1,1*	0,23	1,7	293***	308***	93*

Die Schädigung der Reben läßt sich folgendermaßen erklären: In der Versuchsfläche R 15 wurde das Grünsalz erst spät (Ende April) in den Boden gebracht und konnte sich offenbar nicht mehr vollständig lösen. Starke Regenfälle bewirkten Ende Juni das Auflösen des restlichen Grünsalzes, das von den Reben aufgenommen und in den Sproß transportiert wurde. Die dort aufgetretenen Schäden scheinen vor allem vom zweiwertigen Eisen verursacht worden zu sein, da ein Anstieg des Sulfatgehalts nicht nachzuweisen war (vergl. Kap. 3.4.2.1). Dieser Vorfall hat gezeigt, daß eine späte Grünsalzdüngung erhebliche Gefahren birgt. Die Einbringung in den Boden sollte spätestens im März erfolgen, damit sich das Grünsalz vor dem Austrieb lösen kann. Auf diese Problematik wird in der abschließenden Diskussion noch eingegangen.

#### 5.4 Bonitur der Chlorosestärke

1984 und 1985 wurde auf den Versuchsflächen die Chlorosestärke bonitiert. Das Ergebnis ist in Tab.33 zusammengestellt.

Tab. 33 : Chlorosestärke in den 1984 und 1985 angelegten Versuchen.

Versuchsfläche Nr.	Variante	Boniturklasse	
		von - bis	Ø
<u>Rehlungen, 9.7.1984</u>			
R 1	unbehandelt	1 - 2	1,2
	Grünsalz	1 - 2	1,2
R 2	unbehandelt	0 - 3	1,33
	Grünsalz	0 - 1	0,54

Tab. 33 : Fortsetzung

Versuchsfläche Nr.	Variante	Boniturklasse		Ø
		von	bis	
R 3	unbehandelt	0	4	2,24
	Grünsalz	0	3	1,10
R 4	unbehandelt	1	2	1,2
	Grünsalz	1	2	1,2
R 5	unbehandelt	0	4	1,38
	Grünsalz	0	3	1,18
R 6	unbehandelt	1	4	1,37
	Grünsalz	1		1,00
R 7	unbehandelt	1	1,5	1,3
	Grünsalz	1	1,5	1,1
R 8	unbehandelt	1	4	1,39
	Grünsalz	1	2	1,15
R 9	unbehandelt	1	4	2,29
	Grünsalz	1	2	1,14
<u>Gau-Bickelheim, 10.7.1984</u>				
G 1	unbehandelt	1	3	1,7
	Grünsalz	1	2	1,3
	Sequestren	1	2	1,1
G 1 (18.9.1984)	unbehandelt	1,5	3,5	2,5
	Grünsalz	1	2,5	1,5
	Sequestren	1	1,5	1,1
G 2	unbehandelt	1	2	1,5
	Grünsalz	1	2	1,4
	Sequestren	0,5	1,5	0,7
G 3	unbehandelt	1	3	1,6
	Torf + Grünsalz	1	3	1,4
	Sequestren	1	3	1,2
G 4	unbehandelt	1		1
	Grünsalz	1		1
G 5	unbehandelt	1	2	1,4
	Grünsalz	1	2	1,2
G 6	unbehandelt	1	2	1,3
	Grünsalz	1	2	1,3
	Sequestren	1	2	1,2
G 7	unbehandelt	1	3	1,9
	Grünsalz	1	3	1,6

Tab. 33 : Fortsetzung

Versuchsfläche Nr.	Variante	Boniturklasse	
		von - bis	Ø
G 8	unbehandelt	1 - 2	1,3
	Grünsalz	1 - 2	1,3
	Sequestren	1 - 2	1,2
<u>Rehlingen , 3.7.1985</u>			
R 1	unbehandelt	1	1
	Grünsalz	1	1
R 2	unbehandelt	1 - 2	1,8
	Grünsalz	1 - 2	1,5
R 3	unbehandelt	1 - 4	2,4
	Grünsalz	1 - 4	1,7
R 4	unbehandelt	1 - 2	1,5
	Grünsalz	1 - 2	1,5
R 5	unbehandelt	1 - 2	1,8
	Grünsalz	1 - 2	1,5
R 6	unbehandelt	1 - 4	2,4
	Grünsalz	1 - 4	2,0
R 7	unbehandelt	1 - 3	2,3
	Grünsalz	1 - 3	1,7
R 8	unbehandelt	1 - 3	2,2
	Grünsalz	1 - 3	1,6
R 9	unbehandelt	1 - 3	2,0
	Grünsalz	1 - 3	1,7
R 10	unbehandelt	1 - 4	2,6
	Grünsalz	1 - 2	1,5
R 11	unbehandelt	1 - 4	2,8
	Grünsalz	1 - 4	1,6
R 12	unbehandelt	1 - 4	1,7
	Grünsalz	0 - 3	1,1
R 13	unbehandelt	1 - 4	2,2
	Grünsalz	1 - 3	1,2
R 14	unbehandelt	1 - 2	1,5
	Grünsalz	1 - 2	1,5
R 15	unbehandelt	1 - 2	1,5
	Grünsalz	1 - 2	1,1

Tab. 33 : Fortsetzung

Versuchs- fläche Nr.	Variante	Bonitur- klasse	Bemerkungen
R 16	unbehandelt	1 - 4	2,7
	Grünsalz	1 - 4	1,5
<u>Gau-Bickelheim, 19.6.1985</u>			
G 1	unbehandelt	2 - 3	"unbehandelt" und "Grünsalz" am 5.6.1985 mit Sequestren nachgedüngt.
	Grünsalz	1 - 2	
	Sequestren	1	
G 2	unbehandelt	1 - 2	"unbehandelt" und "Grünsalz" am 5.6.1985 mit Sequestren nachgedüngt.
	Grünsalz	1 - 2	
	Sequestren	1	
G 3	unbehandelt	1 - 2	Frostschäden in allen Varianten
	Torf+Grünsalz	1 - 2	
	Sequestren	1 - 2	
G 4	unbehandelt	1 - 2	Grünsalz
	Grünsalz	1 - 2	
G 5	keine Chlorose, Anfang Juni mit Sequestren nachgedüngt.		
G 6	" "	" "	" " " "
G 7	" "	" "	" " " "
G 8	unbehandelt	2	"unbehandelt" und "Grünsalz" am 4.6.1985 mit Sequestren nachgedüngt.
	Grünsalz	2	
	Sequestren	1	
G 9	unbehandelt	1 - 2	in beiden Varianten starke Frostschäden
	Grünsalz	1 - 2	
G 10	unbehandelt	1 - 2	Grünsalz
	Grünsalz	1 - 2	
G 11	unbehandelt	1 - 2	Grünsalz
	Grünsalz	1 - 2	
G12	unbehandelt	1 - 2	Alle Varianten am 4.6.1985 mit Sequestren nachgedüngt.
	Grünsalz	1 - 2	
	Sequestren	1 - 2	

Die Ergebnisse der Chlorose-Bonitur lassen sich folgendermaßen bewerten: Sowohl 1984 als auch 1985 trat, bedingt durch kühle, feuchte Witterung (1984 im Frühjahr und Sommer, 1985 ab Juni), in vielen Versuchsflächen Chlorose auf. In der Gemarkung Rehlingen war die Chlorose in den Grünsalz-Varianten meist deutlich schwächer ausgeprägt als in den unbehandelten Parzellen. In Gau-Bickelheim war dagegen nur eine schwache Wirkung des Grünsalzes zu erkennen



(s. Bonitur vom 10.7.1984). Die Grünfärbung der Blätter war nach Grünsalzdüngung zwar intensiver, reichte aber nicht an die Sequestren-Variante heran. Grünsalz lag also in seiner Wirkung zwischen den Varianten "unbehandelt" und "Sequestren." Die Überlegenheit des Sequestrens zeigte sich deutlich im Versuchsjahr 1985. Die Chlorose trat nämlich in einigen Versuchsflächen trotz der im Vorjahr erfolgten Grünsalzdüngung so stark auf, daß die Winzer Anfang Juli die "Notbremse" zogen und eine Sequestrendüngung durchführten. Diese zeigte bereits nach 2 Wochen eine Wirkung, wenn auch die Stöcke am 19.6. noch deutliche Chlorosesymptome zeigten (s. Tab.33). Wegen der Sequestren-Nachdüngung war eine weitere Auswertung der Versuche in Gau-Bickelheim, von einigen weniger interessanten Versuchsflächen abgesehen, nicht möglich. Trotz (oder gerade wegen) dieses Mißerfolges sind die in Gau-Bickelheim gewonnenen Erkenntnisse wertvoll für die Beurteilung der Chlorose-vorbeugenden Wirkung des Grünsalzes (s. die abschließende Diskussion). Eine zusammenfassende Darstellung der Boniturergebnisse findet sich in Tab.34. Dabei konnten einige der Gau-Bickelheimer Flächen wegen der Sequestren-Nachdüngung nicht berücksichtigt werden.

Tab. 34 : Grünsalz-Feldversuche 1984 und 1985:  
Auswertung der Chlorose-Bonituren

Differenz zwischen der Boniturklasse der Varianten "unbehandelt" und "Grünsalz"	Anzahl der Bonituren	
	n	%
0	12	33,3
0,1 - 0,4	12	33,3
0,5 - 1,0	7	19,4
> 1 (max. 1,2)	5	14

Wie bereits in Kap. 2.4 ausgeführt, kennzeichnet eine Differenz von 0,5 bereits einen deutlichen, eine solche von 1 einen starken Unterschied im Chlorosegrad. Auf einem Drittel (33,4%) der Versuchsflächen war also eine deutliche bis starke Wirkung des Grünsalzes zu erkennen.

### 5.5 Nährstoffgehalt der Rebblätter und Trauben

Von besonderem Interesse ist an dieser Stelle die Frage, ob die stärkere Grünfärbung der Blätter mit einem veränderten Nährstoffgehalt einherging. Die Blattanalyse lieferte das in Tab.35 zusammengefaßte Ergebnis. Demnach war ein eindeutiger Einfluß der Grünsalzdüngung weder beim Eisen noch bei den übrigen Elementen festzustellen. (Die chlorotischen Blätter hatten meist einen erhöhten Nährstoffgehalt, vergl. Kap. 1.1.2.) Außer den Blättern wurden auch Rappen (= Traubengerüst), Beeren und Most analysiert. Die Ergebnisse sind in Tab.36 zusammengestellt. (Die Ca-, Mg- und K-Gehalte sind nicht aufgeführt, da sie durch die Grünsalzdüngung nicht wesentlich beeinflußt wurden.) Die durchschnittliche Zu- bzw. Abnahme des Fe-, Mn- und Zn-Gehalts nach Grünsalzdüngung ist am Fuß der Tabelle angegeben. Es überrascht, daß im Gegensatz zur Blattanalyse der Fe-Gehalt zu-, der Mn- und Zn-Gehalt dagegen abnahm

(Antagonismus?). Besonders auffällig ist der z.T. starke Anstieg des Fe-Gehalts nach Sequestrendüngung.

### 5.6 Ertragsermittlung

Auf verschiedenen Versuchsflächen in Rehlingen und Gau-Bickelheim, die an der Laubfärbung eine Wirkung des Grünsalzes erkennen ließen, wurde eine Ertragsermittlung durchgeführt. Das Ergebnis ist aus Tab.37 zu ersehen. Die Ergebnisse der Ertragsermittlung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Ein leichter Minderertrag (5 - 11%) wurde in 4 Fällen, ein gleich hoher Ertrag in 2 Fällen, ein leichter Mehrertrag (2,4 - 10%) in 3 Fällen, ein deutlicher Mehrertrag (17 - 22%) in 2 Fällen und ein hoher Mehrertrag (74 - 89%) in 3 Fällen ermittelt. Ertragsverbesserungen wurden nur in der Gemarkung Rehlingen, nicht aber in Gau-Bickelheim erzielt. Das Mostgewicht war in den Grünsalz-Parzellen meist etwas

Tab. 35 : Nährstoffzusammensetzung grüner und chlorotischer Blattspreiten aus den Versuchsflächen in Gau-Bickelheim (19.6.1985) und Rehlingen (4.7.1985); entnommen wurde das 5. entfaltete Blatt von oben; Mittelwerte aus drei Mischproben

Versuchsfläche und Variante	Boniturklasse	Ca	Mg %	K	Mn	Zn	
					mg/kg		
G 4	unbehand.	1 - 2	1,3	0,28	2,4	94	52
	Grünsalz	1 - 2	1,3	0,32	2,0	82	50
R 8	unbehand.	1	0,88	0,28	2,3	33	34
	"	3	0,94	0,36*	2,7**	32	48*
R 11	unbehand.	1	0,85	0,30	2,1	194	60
	"	3 - 4	1,0	0,31	2,4	289**	102***
	Grünsalz	1	0,84	0,26**	2,1	208	62
R 12	unbehand.	1	0,93	0,24	2,1	152	56
	"	2 - 3	1,0	0,27	2,5**	228	79
	Grünsalz	1	0,85	0,23	2,2	122	47
R 13	unbehand.	1	1,1	0,26	2,5	160	53
	Grünsalz	1	1,0	0,26	2,3	170	57
R 15	unbehand.	1	0,76	0,17	1,5	163	58
	Grünsalz	1	0,78	0,20	1,5	209	50
R 16	unbehand.	1	1,1	0,29	2,1	166	61
	"	3 - 4	1,1	0,35	2,8**	279**	102***
	Grünsalz	1	0,92**	0,28	2,5	84**	43**
Müller-Thurgau-Anlage, Rehlingen (keine Versuchsfläche)		1	0,84	0,26	2,2	36	47
		3 - 4	0,94	0,32	3,0**	37	67**

Tab. 35 : Fortsetzung

Versuchsfläche und Variante		Fe ges.	Fe 0,5 n HCl mg/kg	P %	P/Fe ges.
G 4	unbehandelt	116	38	0,50	43
	Grünsalz	98	36	0,41	42
R 8	unbehandelt	119	40	0,44	37
	"	158 <sup>***</sup>	55	0,54	34
R 11	unbehandelt	115	30	0,39	34
	"	148 <sup>*</sup>	32	0,37	25
	Grünsalz	119	29	0,49	41
R 12	unbehandelt	94	29	0,39	41
	"	104 <sup>*</sup>	34	0,43	41
	Grünsalz	101	25	0,45	45
R 13	unbehandelt	91	25	0,37	41
	Grünsalz	84	28	0,36	43
R 15	unbehandelt	101	40	0,28	28
	Grünsalz	135 <sup>*</sup>	64	0,25	19
R 16	unbehandelt	119	41	0,34	29
	"	190 <sup>***</sup>	39	0,38	20
	Grünsalz	114	57	0,46	40
Müller-Thurgau-Anlage,					
Rehlingen (keine		110	34	0,38	35
Versuchsfläche)		126	13	0,54	43

niedriger als in den unbehandelten, während die Säure praktisch unbeeinflusst war. Das niedrigere Mostgewicht in den Grünsalz-Parzellen stimmt mit der Beobachtung überein, daß die Traubenreife gegenüber den unbehandelten Parzellen z.T. um einige Tage verzögert war. Die Trauben in den Grünsalzparzellen wurden von den Winzern z.T. als "gesünder" und "praller" eingeschätzt, der Anteil an Bodentrauben war geringer. In einigen Fällen war jedoch nach Aussage der Winzer in den Grünsalzparzellen der Anteil der Bodentrauben höher, so daß sich kein einheitliches Bild ergibt.

### 5.7 Nachhaltigkeit der Grünsalzdüngung. Untersuchung des Depotstreifens

1986 wurden die Versuchsflächen nochmals in Augenschein genommen. In Gau-Bickelheim war keine Wirkung des Grünsalzes mehr zu erkennen. In Rehlingen konnte dagegen, wie Tab.38 zeigt, eine deutliche Nachwirkung festgestellt werden (die Versuchsflächen ohne deutlich erkennbare Grünsalzwirkung sind nicht aufgeführt). Besonders bemerkenswert ist die starke Nachwirkung in der Fläche

Tab.36 : Spurenelementgehalt in Rappen, Beeren und Most nach Düngung mit Grünsalz oder Sequestren

Versuchsfläche, Jahr, Variante	Rappen			ausgepreßte Beeren			Most			
	mg/kg			mg/kg			mg/l			
	Fe	Mn	Zn	Fe	Mn	Zn	Fe	Mn	Zn	
R 3 1984	unbehand.	59	33	33	40	24	21	4,0	2,9	2,2
	Grünsalz	53	24	29	48	19	19	2,9	2,1	2,1
R 6 1984	unbehand.	53	13	29	37	15	19	3,3	1,4	2,9
	Grünsalz	55	13	29	53	13	19	2,6	1,4	1,7
R 7 1984	unbehand.	75	26	40	42	26	24	2,6	1,9	1,7
	Grünsalz	57	26	29	53	24	19	1,4	2,2	2,6
R 8 1984	unbehand.	77	29	31	40	24	17	2,0	1,9	2,4
	Grünsalz	57	22	29	37	21	17	2,9	2,2	2,0
R 9 1984	unbehand.	35	14	33	24	17	18	2,0	1,6	2,4
	Grünsalz	35	13	29	31	14	15	2,2	1,4	1,8
G 1+2 1984	unbehand.	51	33	46	29	26	17	2,4	2,6	2,0
	Grünsalz	66	33	24	26	24	17	2,9	2,6	1,9
	Sequestr.	37	33	29	37	22	21	3,7	2,2	1,9
G 8 1984	unbehand.	40	22	42	35	24	24	4,8	2,2	2,6
	Grünsalz	46	19	29	37	19	20	7,0	2,1	2,1
	Sequestr.	114	24	31	145	22	21	30,8	3,3	2,6
R 3 1985	unbehand.	103	29	33	66	22	24	3,7	2,0	1,9
	Grünsalz	53	21	31	37	19	22	3,5	1,9	1,8
R 13 1985	unbehand.	55	29	46	55	19	22	6,4	2,1	2,1
	Grünsalz	161	31	29	81	22	20	5,7	2,0	1,7
-----										
Zu- oder Abnahme nach Grünsalzdüngung (%)										
		+15	-10	-20	+14	-12	-9	+4	-3	-9
-----										

R 3, die bereits 1984 mit Grünsalz gedüngt worden war, und der Mehrertrag von 91% in der Fläche R 16 (1985 gedüngt).

Am 11.9.1986 wurde in verschiedenen Versuchsflächen der Gemarkung Rehlingen das Grünsalzdepot aufgegraben. Letzteres hob sich durch seine gelb- bis rostbraune Farbe auch 2½ Jahre nach seiner Anlage noch sehr deutlich vom unbehandelten Boden ab. Die Färbung war oft auf die Oberfläche großer Aggregate (Brocken) beschränkt, was mit der Applikationsmethode (Grünsalz wurde in den aufgerissenen Boden gefüllt) zu erklären ist. Besonderheiten in der Durchwurzelung des Depots konnten nicht beobachtet werden. Bemerkens-

Tab. 37 : Chlorosestärke und Ertrag in einigen Versuchsflächen der Gemarkungen Rehlingen und Gau-Bickelheim

Versuchsfläche	Variante	Boniturklasse	Einzelstockertrag (kg)	Mostgewicht %Oechsle	Säure %
<u>Rehlingen 1984</u>					
R 3	unbehandelt	2,2	2,0	59	12,9
	Grünsalz	1,1	2,2	56	12,6
R 6	unbehandelt	1,4	3,4	57	
	Grünsalz	1,0	3,1	52	
R 7	unbehandelt	1,3	5,8	53	8,7
	Grünsalz	1,1	5,3	53	8,6
R 8	unbehandelt	1,4	5,3	56	8,4
	Grünsalz	1,2	4,7	53	8,4
R 9	unbehandelt	2,3	4,1	59	11,0
	Grünsalz	1,1	4,8	56	11,6
<u>Gau-Bickelheim 1984</u>					
G 1 + 2	unbehandelt	1,5-2,5	1,7	70	11,1
	Grünsalz	1,3-1,5	1,7	69	11,5
	Sequestren	0,7-1,1	1,9	69	11,5
G 8	unbehandelt	1,3	2,0	66	9,0
	Grünsalz	1,3	1,9	70	9,4
	Sequestren	1,2	2,0	70	9,4
<u>Rehlingen 1985</u>					
R 3	unbehandelt	2,4	2,7	58	10,1
	Grünsalz	1,7	5,1	53	9,9
R 9	unbehandelt	2,0	2,3	57	
	Grünsalz	1,7	2,8	55	
R 10	unbehandelt	2,6	2,9	65	
	Grünsalz	1,5	3,1	63	
R 11	unbehandelt	2,3	2,9	70	
	Grünsalz	1,6	2,9	68	
R 12	unbehandelt	1,7	4,1	66	
	Grünsalz	1,1	4,2	68	
R 13	unbehandelt	2,2	0,39	67	9,7
	Grünsalz	1,2	0,68	60	9,9
R 16	unbehandelt	2,7	0,45	58	
	Grünsalz	1,5	0,80	60	

Tab. 38 : Chlorosestärke und Ertrag in einigen Versuchsflächen der Gemarkung Rehlingen im Jahr 1986

Versuchsfläche Nr.	Variante	Bonitur- klasse	Einzelstock- ertrag (kg)	Mostgewicht (°Oechsle)
R 3	unbehandelt	1,9 *)		
	Grünsalz	1,5		
R 7	unbehandelt	2,9		
	Grünsalz	1,5		
R 10	unbehandelt	1,8		
	Grünsalz	1,4		
R 11	unbehandelt	2,0		
	Grünsalz	1,5		
R 13	unbehandelt	1,9		
	Grünsalz	1,4		
R 16	unbehandelt	2,8	2,1	56
	Grünsalz	1,5	4,0	61

\*) Bonitur vom 27.7.1986

werte Ergebnisse lieferte dagegen die chemische Untersuchung des Depots und des unbehandelten Bodens (Tab.39). Wie man sieht, nahm das pH im Depot leicht ab. Äußerst stark sank der Phosphatgehalt, während der Eisengehalt erheblich anstieg (beide Nährstoffe im CAL-Auszug bestimmt). Die intensivere Grünfärbung der Rebblätter in den Grünsalz-Varianten ließe sich aufgrund dieses Befundes mit dem höheren Gehalt leichtverfügbaren Eisens im Depot erklären (vergl. hierzu die bodenchemischen Untersuchungen, Kap. 3.3). In den Blättern wurde allerdings kein eindeutiger Anstieg des Eisengehalts festgestellt. Zur Bedeutung der niedrigen Phosphatgehalte im Depot für die Chlorose s. Kap. 6.2.

Eine Beeinflussung bodenchemischer Eigenschaften konnte auch nach Ausbringung von Grünsalz auf die Bodenoberfläche festgestellt werden, wie Tab.40 zeigt. Die Probenahme erfolgte im Mai 1983, also gut ein Jahr nach Applikation des Grünsalzes. In den mit Grünsalz gedüngten Varianten nahm der Kalkgehalt in allen untersuchten Tiefen leicht ab, das pH blieb dagegen konstant. (Die Mg-, K- und B-Werte waren praktisch unverändert und sind deshalb nicht aufgeführt.) Das CAL-lösliche  $P_2O_5$  nahm zumindest in 0 - 20 cm Tiefe deutlich ab. Die Ergebnisse stimmen also in der Tendenz mit den in Kap. 3.3 mitgeteilten überein.

Tab. 39 : Chemische Kenngrößen im Depot und im unbehandelten Kalkboden (11.9.1986)

Versuchs- fläche Nr.	Boden	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 g	Fe mg/kg
R 7	unbehandelt	7,51	76	69
	Depot	7,30	3	341
R 8	unbehandelt	7,00	169	118
	Depot	6,92	29	447
R 12	unbehandelt	7,50	102	85
	Depot	7,17	13	564
R 16	unbehandelt	7,50	59	13
	Depot	7,38	4	123

Tab. 40 : Bodenchemische Eigenschaften nach Ausbringung von Grünsalz auf die Bodenoberfläche

Versuchs- fläche	Variante	Tiefe cm	CaCO <sub>3</sub> %	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 g
Frei- Laubersheim I	unbehandelt	0 - 20	25,5	7,4	20
		20 - 40	26,0	7,4	4,7
		40 - 60	28,3	7,5	0,3
	10 t/ha Grünsalz	0 - 20	24,2	7,4	16
		20 - 40	25,8	7,4	6,7
		40 - 60	27,4	7,5	0,3
Alsheim	unbehandelt	0 - 20	23,9	7,8	24
		20 - 40	23,0	7,9	20
		40 - 60	23,8	7,9	16
		60 - 80	24,8	7,9	3,3
	10 t/ha Grünsalz	0 - 20	21,6	7,8	19
		20 - 40	21,6	7,9	18
		40 - 60	22,2	7,9	13
		60 - 80	23,1	7,8	7,7
Nittel	unbehandelt	0 - 20	15,3	7,2	97
		20 - 40	16,7	7,2	42
		40 - 60	23,9	7,4	6,7
	10 t/ha Grünsalz	0 - 20	14,3	7,2	82
		20 - 40	16,7	7,2	44
		40 - 60	22,6	7,4	10

## 5.8 Kapitel-Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel beschriebene Depotdüngung kann folgendermaßen bewertet werden: Von der technischen Seite her ist die Grünsalz-Depotdüngung ohne größere Schwierigkeiten durchführbar (die betriebswirtschaftlichen Aspekte werden in der Diskussion erörtert). Die Grünsalzausbringung muß spätestens im März, besser noch im Herbst, erfolgen, da sonst Schäden an den Reben zu befürchten sind. Die Wirksamkeit des Grünsalzes war in verschiedenen Gemarkungen sehr unterschiedlich. In Gau-Bickelheim war der Erfolg nur gering, die Chlorose-vorbeugende Wirkung war deutlich schwächer als bei einer Sequestren-Düngung. Auf die Ursachen wird in der abschließenden Diskussion (Kap. 6.2) eingegangen. In Rehlingen war dagegen meist eine deutliche Wirkung des Grünsalzes (Grünfärbung der Blätter) zu erkennen. Ein eindeutiger Anstieg des Fe-Gehalts nach Grünsalz-Düngung war in den Trauben, nicht aber in den Blattspreiten festzustellen. Die Auswirkung auf den Ertrag war unterschiedlich. Sowohl leichte Mindererträge als auch hohe Mehrerträge waren festzustellen. Das Mostgewicht war in den Grünsalz-Parzellen meist etwas niedriger als in den unbehandelten Flächen, die Säure gleich hoch. Auch im dritten Jahr nach der Grünsalz-Applikation traten vereinzelt noch starke Effekte (Blattfarbe, Ertrag) auf. Der Grünsalz-Depotstreifen war optisch auch nach 2½ Jahren noch sehr deutlich zu erkennen, seine chemischen Eigenschaften (vor allem die Löslichkeit von Eisen und Phosphat) unterschieden sich gravierend von denen des unbehandelten Kalkbodens.

## 6. Diskussion

### 6.1 Entwicklung des Depot-Konzepts

Grünsalz besteht überwiegend aus Eisensulfat. Daß Blätter chlorotischer Pflanzen nach einer Eisensulfat-Behandlung wieder ergrünten, wurde bereits 1843 entdeckt (s. Kap. 1.1.2). Eisensulfat wird z.T. heute noch, gemischt mit Siapton (RASP 1984) oder mit Zitronensäure und Harnstoff (s. bei MOHR 1987), als Blattdünger zur Behandlung chlorotischer Reben eingesetzt. Bei Applikation über den Boden stellten PATEL et al. (1977) eine Chlorose-mindernde Wirkung von Eisensulfat oder Schwefelsäure bei Reiskeimlings-Kulturen fest. SHARMA und KATYAL (1982) konnten dagegen mit einer Eisensulfat-Düngung (100 kg/ha) Chlorose bei Reis nicht beheben. ANDERSON (1982) stellte nach Ansäuerung eines Kalkbodens einen Rückgang der Chlorose bei Eukalyptus fest. HAKERLERLER und HÖFNER (1982) fanden in Gefäßversuchen mit aufgekalktem Boden eine Verbesserung der Eisenversorgung von Mais nach Fe-EDDHA-Düngung. Andere Eisenverbindungen waren weniger, Eisensulfat am schlechtesten geeignet. SAROHA und SINGH (1979) konnten mit einer Schwefel-Banddüngung Chlorose bei Zuckerrohr verhindern, Eisensulfat hatte eine weniger gute Wirkung. In den Chlorosegebieten Frankreichs wird schon seit dem vorigen Jahrhundert Eisensulfat in Mengen von 2,5 - 10 t/ha



mit Erfolg eingesetzt (s. Kap. 1.1.3). Auf unsere Anfrage teilte Herr A. PERRAUD vom Comité Interprofessionel de Vin de Champagne, épernay, im Dezember 1985 folgendes mit: Rieselfähiges Grünsalz wird von einigen Anwendern in Mengen von 10 - 15 t/ha auf die Bodenoberfläche gestreut und nicht eingearbeitet. Die Maßnahme wird im Winter durchgeführt, damit sich das Produkt vor Vegetationsbeginn löst und jegliche Verbrennung an den Reben vermieden wird. Eine bessere Wirkung wird erzielt, wenn der Boden zusätzlich mit Müllkompost bedeckt wird. In Böden, die gut mit organischer Substanz versorgt sind und eine hohe mikrobielle Aktivität aufweisen, ist die Wirkung der Grünsalzdüngung völlig befriedigend. Sie hält "ziemlich lange" an. Weitere Nachforschungen ergaben, daß eine Genossenschaft in épernay 1981 ca. 300 - 400 t Grünsalz kaufte. Neben der oben erwähnten Methode wird Grünsalz in der Champagne auch im Frühjahr als 10%ige Lösung zum Rebstock oder pulverförmig in 40 cm tiefe Löcher gegeben. In den letzten Jahren wurde Eisensulfat jedoch mehr und mehr von Eisenchelaten verdrängt. Begründung: Letztere sind zwar wesentlich teurer, aber auch effizienter und nicht phytotoxisch.

In den eigenen Versuchen erwies sich die Ausbringung von 10 t/ha Grünsalz auf die Bodenoberfläche als wenig wirkungsvoll bei der Vorbeugung der Chlorose (s. Kap.3.4.2.2). Die zufriedenstellende Wirkung im Weinbau der Champagne mag mit den andersartigen, aus Kreide entstandenen Böden zu erklären sein. Um eine gute, anhaltende Wirkung des Grünsalzes zu erzielen, erschien es erfolgversprechender, Grünsalz-Depots im Boden anzulegen. Vor allem die Ergebnisse des in Kap.3.3 beschriebenen Laborversuchs wiesen in diese Richtung. Das leicht lösliche, EUF-extrahierbare Eisen stieg nämlich erst nach Zusatz hoher Grünsalzmengen (250 - 1000 g /kg Kalkboden) an. Parallel dazu fiel das pH sowie das EUF- und CAL-extrahierbare P deutlich ab. Um zu klären, ob die Rebe solch hohe Grünsalzmengen toleriert, wurden orientierende Gewächshausversuche durchgeführt. Sie zeigten folgendes: Das Sproßwachstum von Reben im Boden nahm ab, wenn 40 g Grünsalz je kg Kalkboden zugemischt wurden (Kap. 3.4.1.1). Wurden Reben in Torf kultiviert, so genügten bereits 10 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf, um das Sproßwachstum stark zu hemmen. Um so überraschender war der Befund, daß in Kalkböden angelegte Depots mit hohen Grünsalzkonzentrationen (50 - 200 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf; 160 - 200 g Grünsalz je kg Kalkboden) meist recht gut durchwurzelt wurden. Verbrennungen an den Blättern traten z.T. bei Depots mit sehr hohem Grünsalzgehalt (500 g je kg Torf) auf (s. Kap. 3.4.1.1; Kap. 3.4.1.2; Kap. 4.2).

Die Untersuchungen zur Grünsalz-Depotdüngung im Freiland begannen mit Tastversuchen. Der erste, im Juni 1980 auf einem kalkfreien Boden durchgeführte Versuch (Kap. 3.4.2.1) zeigte, daß während der Vegetationsperiode in den Wurzelbereich der Rebe gebrachtes Grünsalz schwere Verbrennungen an den Blättern hervorruft. Die Grünsalz-Depotdüngung kann daher nur prophylaktisch, nicht aber therapeutisch durchgeführt werden. Orientierende Versuche mit Torf-Grünsalzgemischen brachten keine voll befriedigenden Ergebnisse (Kap. 3.4.2.2). Da diese Gemische zudem teuer sind und ihre Herstellung und Ausbringung sehr arbeitsaufwendig

ist, wurden sie in den späteren Düngungsversuchen nicht mehr eingesetzt.

## 6.2 Grünsalz-Düngungsversuche

Im Anschluß an die orientierenden Feldversuche wurden in den Versuchsjahren 1984 und 1985 insgesamt 28 Versuchsflächen in den Gemarkungen Gau-Bickelheim (Rhein Hessen) und Rehlingen (Obere Mosel) angelegt. Die Grünsalz-Depotdüngung wurde folgendermaßen durchgeführt: 40 cm von der Rebzeile entfernt wurden je laufendem Meter Rebzeile 2,5 kg Grünsalz 20 - 25 cm tief in den Boden gebracht. Die Einarbeitung erfolgte mit dem Pflug, mit einem umgerüsteten Düngerstreuer oder mit einem umgebauten Tiefen grubber (Kap. 5, Abb.6). Durch die Mitarbeit der Winzer war eine praxisgerechte Durchführung der Grünsalzdüngung gewährleistet. Sowohl 1984 als auch 1985 trat, bedingt durch kühle, feuchte Witterung, in vielen Versuchsflächen Chlorose auf. In der Gemarkung Gau-Bickelheim war nur eine schwache Wirkung des Grünsalzes zu erkennen. Sie lag zwischen "unbehandelt" und einer Sequestren-138-Fe-Behandlung. Besonders deutlich zeigte sich die Überlegenheit des Eisenchelats Sequestren im Frühjahr 1985. Die Chlorose war nämlich in einigen 1984 mit Grünsalz gedüngten Rebflächen so stark, daß die Winzer nachträglich eine Sequestren-Düngung durchführen mußten, die auch schnell zu einem Ergrünen der Stöcke führte. Wesentlich besser war die Grünsalzwirkung in der Gemarkung Rehlingen. Hier war meist eine schwache bis deutliche, z.T. auch eine starke Chlorosevorbeugende Wirkung zu erkennen. Eine Zusammenfassung der zumeist aus der Gemarkung Rehlingen stammenden Boniturergebnisse (Boniturschema s. Kap.2.4) zeigt Tab. 34.

Warum Grünsalz in der Gemarkung Gau-Bickelheim wesentlich schlechter wirkte als in Rehlingen, war zunächst unklar. Nähere Untersuchungen zeigten folgendes:

- A) Der Kalkgehalt in 0 - 60 cm Tiefe des Bodens betrug in Gau-Bickelheim 34 - 48%, in Rehlingen 8,6 - 51%.
- B) Nach Beträufeln mit 10%iger HCl schäumte der Gau-Bickelheimer Boden lebhaft und gleichmäßig auf, der Rehlinger Boden dagegen verhalten und nur an einzelnen Stellen (Kalksteinartikel).
- C) Der Aktivkalkgehalt in den Gau-Bickelheimer Böden betrug 13 - 17%, in den Rehlinger Böden dagegen nur 1,0 - 3,3%. Diese Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß Grünsalz in den Gau-Bickelheimer Böden wesentlich schneller inaktiviert wurde. Daß die Wirkung von Grünsalz in Gegenwart feinverteilten, relativ "aktiven" Kalks sehr gering ist, konnte auch in den eigenen Quarzsand- und Hydrokulturversuchen (Kap. 4.1) festgestellt werden. Die Grünsalz-Depotdüngung verspricht daher nur auf Böden mit mäßig hohem Aktivkalkgehalt Erfolg.

Die Analyse von Blattspreiten aus den Versuchsflächen ließ keinen eindeutigen Einfluß der Grünsalzdüngung auf den Nährstoffgehalt der Blätter erkennen (Kap.5.5., Tab.35). Dagegen stieg in Rappen, Beeren und Most der Eisengehalt um durchschnittlich 15%, 14% bzw. 4% an, während der Mn- und Zn-Gehalt um etwa die gleiche Größenordnung abnahm (Tab.36). Die Ertragsermittlungen, die 1984 und 1985 durchgeführt wurden, brachten folgendes Ergebnis (Kap. 5.6.): Ein leichter Minderertrag (5 - 11%) wurde in 4 Fällen, ein gleich hoher Ertrag in 2 Fällen, ein leichter Mehrertrag (2,4 - 10%) in 3 Fällen, ein deutlicher

Mehrertrag (17 - 22%) in 2 Fällen und ein hoher Mehrertrag (74 - 89%) in drei Fällen festgestellt. Der Einfluß auf den Ertrag war also sehr unterschiedlich, eine zuverlässig ertragssteigernde Wirkung des Grünsalzes war nicht gegeben. Das Mostgewicht war in den mit Grünsalz gedüngten Parzellen meist etwas niedriger als in den unbehandelten, die Säure war nicht beeinflusst. Nach Aussagen der Winzer waren die Trauben in den Grünsalz-Parzellen zur Lese "gesünder", z.T. wurde aber auch ein erhöhter Bodentraubenanteil festgestellt, so daß sich kein einheitliches Bild ergibt. In den zahlreichen Versuchsflächen traten nur in einem Fall Schäden auf, die sich als Blattverbrennungen und im Absterben einzelner Stöcke zeigten (Kap. 5.3.). Die Schäden lassen sich mit der sehr spät (Ende April) durchgeführten Grünsalzdüngung erklären, wodurch ungelöstes Grünsalz im Boden blieb und während der Vegetationsperiode durch Regenfälle plötzlich gelöst wurde. Die toxische Wirkung dürfte vor allem vom  $Fe^{2+}$  ausgegangen sein. Dieser Vorfall hat gezeigt, daß Grünsalz spätestens im März, besser noch im Herbst ausgebracht werden sollte. Zur Vermeidung von Strukturschäden ist die Düngung bei abgetrocknetem Boden durchzuführen.

In den Rehlinger Versuchsflächen konnte z.T. eine beachtliche Nachwirkung der Grünsalzdüngung festgestellt werden. So waren die Reben z.T. selbst im zweiten Jahr nach Grünsalzapplikation (= im dritten Versuchsjahr) deutlich grüner als die unbehandelten Reben (Kap. 5.7.), in einer Versuchsfläche war der Ertrag ein Jahr nach Grünsalzapplikation fast doppelt so hoch wie in der ungedüngten Variante. Die Depots hoben sich 2,5 Jahre nach Applikation des Grünsalzes aufgrund ihrer Färbung sehr deutlich vom umgebenden Boden ab. Das pH war leicht, das CAL-extrahierbare Phosphat extrem stark erniedrigt, das CAL-lösliche Eisen stark erhöht (Tab. 39). Aufgrund dieser Untersuchungen ist anzunehmen, daß in den Rehlinger Böden das Depot seine Wirkung länger als 2,5 Jahre behalten wird. Der Befund, daß die Phosphatlöslichkeit im Depot äußerst stark gesunken ist, bedarf einer näheren Erörterung. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einem Laborversuch (Kap. 3.3.) gefunden. Denkbar wäre, daß die Wirkung des Grünsalzes auf einer Phosphatausfällung beruhte. Wie in der Einleitung (Kap. 1.1.2.) ausgeführt, wird nämlich Phosphat als einer der möglichen Chlorose-auslösenden Faktoren angesehen. Die Untersuchung der Rebblätter aus den Versuchsflächen ließ jedoch keine eindeutige Erniedrigung von P oder Verengung des P/Fe-Verhältnisses nach Grünsalzdüngung erkennen (Kap. 5.5., Tab. 35).

Die Frage, wie sich eine Grünsalzdüngung auf Chlorosegrad und Nährstoffgehalt von Reben auswirkt, wurde auch in zahlreichen Gefäßversuchen im Gewächshaus untersucht, wobei zusätzlich andere Fe-Dünger (Eisencitrat, Sequestren-138-Fe) und Mischungen von Grünsalz und organischen Düngern (Torf; Rindenkompst; Tresterkompst) getestet wurden (Kap. 3.4.1). Bereits geringe Zusätze von Grünsalz zu Muschelkalkverwitterungs-Böden (9 - 20 g/kg Boden) bewirkten eine deutlich stärkere Grünfärbung der Blätter. Dem kam sicher entgegen, daß die Versuchsböden wenig Aktivkalk enthielten (Tab. 1). Dieser Befund scheint den in Kap. 3.3 besprochenen Ergebnissen (Anstieg des leicht löslichen Eisens im Boden erst nach Zusatz hoher Grünsalzmengen) zu widersprechen. Offenbar haben die Reben nicht nur das EUF-extrahierbare, sondern darüber hinaus

weiteres, durch EUF nicht erfaßtes Eisen aufgenommen. Die Extraktion mit der CAL-Lösung (Tab. 17) scheint das von der Rebe nutzbare Eisen besser zu charakterisieren als eine EUF-Extraktion.

Die Beziehung zwischen der Grünsalzdüngung und dem Eisengehalt der Rebblätter war nicht immer eindeutig. Grünere Blätter hatten nicht unbedingt höhere Eisengehalte. In Quarzsand- und Hydrokulturversuchen erwies sich Grünsalz als wirkungslos, sobald der Nährlösung Kalk zugesetzt wurde. Die Chlorose-vorbeugende Wirkung von Sequestren wurde dagegen durch Kalk nicht beeinträchtigt. Nach Sequestren-Düngung stieg meist auch der Fe-Gehalt der Blätter an, während ihr Mn-Gehalt, wohl bedingt durch Antagonismus, sank (Kap. 4.1). Ein reifer Rindenkompost hatte eine gute Chlorose-vorbeugende Wirkung, während ein roher Rindenkompost Chlorose (Mn-Überschuß!) und Wachstumsdepressionen hervorrief. Mit Grünsalz vermischter Torf wirkte besser als Torf allein, noch nicht ausgereifter Tresterkompost und Mischungen aus Grünsalz und Tresterkompost hemmten dagegen das Rebwachstum. In den Gefäßversuchen war nach Grünsalzdüngung in Wurzeln und Blättern keine eindeutige Abnahme des P-Gehalts oder Verengung des P/Fe-Verhältnisses festzustellen. Wie schon in den Freilandversuchen scheint also die Bildung schwer löslichen Eisenphosphats keine entscheidende Chlorose-mindernde Bedeutung gehabt zu haben. Eher dürfte die Verschiebung der Bodenreaktion zum sauren Bereich (vergl. die gute Wirkung einer Schwefel-Banddüngung in den Versuchen von SAROHA und SINGH, Kap. 6.1) und die Erhöhung der Fe-Verfügbarkeit von Bedeutung gewesen sein, obgleich der Eisengehalt in den ergrünten Blättern im Durchschnitt aller Gefäß- und Feldversuche überraschend wenig anstieg. Der mögliche Einfluß einer Grünsalzdüngung auf weitere Boden-Parameter (z.B. Bikarbonat, s. Kap. 1.1.2) kann hier nicht erörtert werden.

### 6.3 Auswirkungen der Grünsalzdüngung auf Boden und Umwelt

Eine Verbesserung der Bodenstruktur bzw. der Aggregatstabilität durch Grünsalz war nicht festzustellen (Kap. 3.1). Es hatte keine den Fe-haltigen Bodenverbesserungsmitteln Flotal und Glotal (Kap. 1.1.3) vergleichbare Wirkung. In der Schlämmanalyse wirkte Grünsalzdüngung flockend auf Tonminerale. Der Einfluß einer extrem hohen Grünsalzdüngung (umgerechnet 50 t/ha) auf den Nährstoffaustrag aus verschiedenen Böden wurde in einem Kleinlysimeter-Versuch geklärt (Kap. 3.2). Dabei wurden im Sickerwasser der Kalkböden bis zu 3413 mg/l  $SO_4$ , bis zu 1203 mg/l Ca, bis zu 655 mg/l Mg und bis zu 207 mg/l K gefunden. Das pH des Sickerwassers sank in schweren Kalkböden minimal, in einem Lössboden aber deutlich (von 8,1 auf 6,7). Die Veränderungen im Grünsalzdepot waren, wie die Untersuchungen in Kap. 5.7 gezeigt haben, beträchtlich (vergl. auch den Modellversuch in Kap. 3.3!). Folgende Auswirkungen sind aus der Sicht des Boden- und Umweltschutzes gravierend:

- A) Abnahme des Kalkgehalts (Bildung von Gips);
- B) pH-Absenkung (nur auf leichteren Kalkböden bedenklich);
- D) Verstärkte Ein- bzw. Auswaschung von Nährstoffen, vor allem von Sulfat.

Die Schwermetallzufuhr ist dagegen nur sehr gering (Kap. 2.1).

Es erhebt sich die Frage, wie die genannten Beeinträchtigungen des Bodens und der Umwelt zu bewerten sind. Da leichtere Böden,

vor allem Lössböden, besonders gefährdet sind, sollten sie nur mäßig mit Grünsalz gedüngt werden. Auf schweren Kalkböden erscheint eine Depotdüngung, wie sie in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde (2,5 kg je laufendem Meter Rebzeile, das entspricht ca. 15 t Grünsalz je ha), vertretbar. Auch eine Wiederholung der Düngung nach ca. fünf Jahren auf der beim ersten Mal nicht behandelten Seite der Rebzeile erscheint verantwortbar.

Schließlich sei auf die herbizide Wirkung des Grünsalzes hingewiesen. In den eigenen Versuchen kam es nach unmittelbarem Kontakt von Grünsalz mit Unkraut- oder Rebblättern zu starken Verätzungen. Dieser Effekt des Eisensulfats wurde um die Jahrhundertwende sogar in großem Umfang zur Unkrautbekämpfung im Getreidebau genutzt (KOLBE 1983). Noch heute wird Grünsalz zur Moosbekämpfung in Rasenflächen eingesetzt. Im Boden hemmte es ab gewissen Konzentrationen das Auflaufen von Unkräutern (Kap. 3.4.1.1).

#### 6.4 Abschließende Bewertung der Grünsalz-Depotdüngung

Zu klären bleibt abschließend, wie die Möglichkeiten eines Grünsalzeinsatzes im deutschen Weinbau einzuschätzen sind.

Mit der Grünsalz-Depotdüngung konnten beachtliche Erfolge bei der Vorbeugung der Chlorose erzielt werden. Die mit Grünsalz gedüngten Reben waren oft deutlich grüner als ungedüngte, der Ertrag war z.T. deutlich erhöht. Als entscheidender Nachteil ist aber zu nennen, daß die Wirkung von Versuchsfeld zu Versuchsfeld und von Jahr zu Jahr stark schwankte. Die Spanne beim Ertrag reichte selbst auf solchen Flächen, die im Vergleich zur Kontrolle grüner waren, von "leichter Minderertrag" bis "hoher Mehrertrag". Hinzu kommt, daß die Mostgewichte nach Grünsalzdüngung meist etwas erniedrigt waren. Die besten Erfolge wurden auf solchen Böden erzielt, die nur wenig Aktivkalk enthielten (Muschelkalkverwitterungs-Böden der Oberen Mosel). Auf diesen Böden war selbst im dritten Versuchsjahr z.T. noch ein deutlicher Effekt zu erkennen. Das Grünsalzdepot hob sich nach 2½ Jahren optisch und chemisch noch stark vom umgebenden Kalkboden ab, so daß die Grünsalzdüngung mehrere Jahre vorhält. Anders ist die Situation auf Böden mit höherem Aktivkalkgehalt (z.B. Böden aus tertiärem Rupelton in Rheinhessen). Hier hatte Grünsalz kaum eine Chlorosevorbeugende Wirkung, während sich das Eisenchelat Sequestren-138-Fe gut bewährte. Gerade auf den am stärksten Chlorose-gefährdeten Standorten kann daher vom Grünsalz keine ausreichende Wirkung erwartet werden.

Der Einfluß des Grünsalzes auf Boden und Umwelt ist in erster Linie durch die Verringerung des Kalkgehalts, die pH-Erniedrigung und die Ein- bzw. Auswaschung von Sulfat gekennzeichnet. Diese Effekte wirken sich am stärksten auf leichteren Böden, insbesondere Lössböden, aus. Sie sollten daher nur mäßig mit Grünsalz gedüngt werden.

Die Einbringung des Grünsalzes in den Boden muß spätestens im März, besser noch im Herbst erfolgen, damit sich das Salz vor dem Austrieb lösen kann. Andernfalls können Verbrennungen an den Reben

auftreten (Kap. 5.3). Daher kommt für Grünsalz grundsätzlich nur ein prophylaktischer Einsatz in Frage.

Ein Kostenvergleich (Stand: Mai 1987) zwischen einer Grünsalz-Depotdüngung und einer Sequestren-138-Fe-Düngung, beide mit einem umgerüsteten Tiefengrubber durchgeführt, soll an folgendem Beispiel demonstriert werden:

Gassenbreite des Weinbergs: 1,8 m; Stockabstand 1,1 m;  
Grünsalmenge : 2,5 kg je laufenden Meter bzw. 14 t/ha; Kosten für Ferrogranul 20, lose, frachtfrei Worms (oder ähnlich weit entferntem Ort): 2980,-DM. Die Kosten für eine Sequestren-Düngung (wässrige Lösung, 15 g je Rebstock) belaufen sich auf 4150,-DM/ha. Der Arbeitsaufwand für die Montage der Geräte und die Ausbringung im Weinberg betrug bei Grünsalz 25, bei Sequestren 12 Arbeitskraftstunden/ha (in beiden Fällen wurde ein umgerüsteter Tiefengrubber eingesetzt). Die Lohnkosten betragen z.Z. 250 DM (Grünsalz) bzw. 120 DM (Sequestren). Insgesamt belaufen sich die Kosten für die Grünsalzdüngung auf 3230 DM, für die Sequestren-Düngung auf 4270 DM/ha. Werden je Rebstock nur 10 g Sequestren appliziert, reduzieren sich die Kosten auf 2890 DM/ha.

Bedenkt man die im Vergleich zu Sequestren nur mäßige Wirkung des Grünsalzes, so erscheinen die Kosten einer Grünsalzdüngung als sehr hoch. Da außerdem der Weinbau zur Zeit mit großen wirtschaftlichen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, sind die Möglichkeiten, Grünsalz im deutschen Weinbau einzusetzen, als begrenzt anzusehen. Während im Jahre 1981, als mit den Untersuchungen zur vorliegenden Arbeit begonnen wurde, die Situation bei der Grünsalz-Entsorgung kritisch war (Kap.1.2), hat sich die Lage heute entspannt. Wie die Fa. Kronos Titan uns im Mai 1987 mitteilte, wird z.Z. das gesamte anfallende Grünsalz vermarktet (vor allem in der Abwasserreinigung werden große Mengen an Grünsalz eingesetzt). Da jedoch im Zuge der in Kap. 1.2 geschilderten Umweltschutzmaßnahmen zusätzliche Mengen anfallen werden, müssen neue Märkte und Einsatzgebiete für Grünsalz erschlossen werden.

## 7. Zusammenfassung

Fünfjährige Untersuchungen sollten klären, ob sich die Chlorose der Reben durch Düngung mit Grünsalz (größtenteils aus Eisensulfat bestehend) beheben läßt, wie und in welchen Mengen dieser Dünger gegebenenfalls zu applizieren ist und ob negative Auswirkungen auf Rebe, Boden und Umwelt zu erwarten sind. Die Untersuchungen wurden im Labor, im Gewächshaus und im Freiland (Kalkböden der Oberen Mosel, der Nahe und Rheinhessens) durchgeführt.

Reben im Gewächshaus wurden geschädigt, wenn sie in Mischungen von 10 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf oder 40 g Grünsalz je kg Kalkboden kultiviert wurden. Leichte Schäden traten als reduziertes

Wurzel- und Sproßwachstum, stärkere als Blattverbrennungen in Erscheinung. Wesentlich höhere Grünsalzkonzentrationen wurden toleriert, wenn die Rebwurzeln aus Kalkboden in ein Depot (50 - 200 g Grünsalz je kg lufttrockenem Torf oder 160 - 200 g je kg Kalkboden) einwachsen. Erst bei sehr hoher Grünsalzkonzentration des Depots (500 g Grünsalz je kg Torf) traten z.T. Schäden an den Reben auf.

Untersuchungen mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration (EUF) zeigten, daß das leicht lösliche Fe in verschiedenen Kalkböden erst nach Zusatz hoher Grünsalzmengen (250 - 1000 g je kg Boden) anstieg. Daraus wurde gefolgert, daß für die Behebung der Chlorose eine Depotdüngung mit hohen Grünsalzmengen erforderlich ist. Das CAL-lösliche Fe stieg dagegen schon nach Zusatz von 5 g Grünsalz je kg Muschelkalkverwitterungs-Boden deutlich an. Befunde aus den Gefäßversuchen deuteten darauf hin, daß das von der Rebe nutzbare Fe durch den CAL-Extrakt besser charakterisiert wurde als durch EUF.

Im Freiland war unter verschiedenen Applikationsmethoden (Ausstreuen des Grünsalzes auf die Bodenoberfläche; Injektion in den Wurzelbereich; Depotdüngung mit Torf-Grünsalz-Gemischen; Grünsalz-Depotdüngung) letztere am effektivsten. Das Grünsalz wurde mit dem Pflug, mit einem umgerüsteten Düngerstreuer oder mit einem Tiefengrubber eingearbeitet. Je Rebgeisse wurde, 25 cm tief und 40 cm von der Rebzeile entfernt, ein Depotstreifen mit 2,5 kg Grünsalz je laufendem Meter angelegt. Um Schäden an den Reben zu vermeiden, mußte Grünsalz in der vegetationsfreien Zeit, also prophylaktisch, appliziert werden.

Die Depotdüngung wurde in 28 Versuchsflächen in Rheinhessen (Gau-Bickelheim) und an der Oberen Mosel (Rehlingen) erprobt. Der Effekt war sehr unterschiedlich. In Gau-Bickelheim war die Wirkung unbefriedigend und fiel gegenüber einer Düngung mit Sequestren-138-Fe deutlich ab (Sequestren stets über den Boden appliziert). Mehrere Grünsalzparzellen mußten im zweiten Versuchsjahr wegen starker Chlorose mit Sequestren nachgedüngt werden. Wesentlich effektiver war die Grünsalz-Depotdüngung in der Gemarkung Rehlingen, die Rebblätter waren im Vergleich zur Kontrolle fast immer grüner. Die Chlorose-Bonitur ergab 1984 und 1985 in Rehlingen und Gau-Bickelheim in 33,3% der Versuchsflächen eine schwache, in 33,4% der Flächen eine deutliche bis starke Wirkung des Grünsalzes. Hauptsächlich in Rehlingen durchgeführte Ertragsermittlungen auf Flächen, die an der Laubfärbung eine Wirkung des Grünsalzes erkennen ließen, brachten folgendes Ergebnis: Ein leichter Minderertrag (5 - 11%) wurde in 4 Fällen, ein gleich hoher Ertrag in 2 Fällen, ein leichter Mehrertrag (17 - 22%) in 2 Fällen und ein hoher Mehrertrag (74 - 89%) in 3 Fällen ermittelt. Die Auswirkung auf den Ertrag variierte also stark. Das Mostgewicht war in den mit Grünsalz gedüngten Flächen durchschnittlich um 1,8<sup>oo</sup> Oechsle niedriger, die Säure gleich hoch.

Die schlechte Wirkung des Grünsalzes in Gau-Bickelheim dürfte mit den Eigenschaften des Bodens (schwerer tertiärer Rupelton) zu erklären sein. Verglichen mit Rehlingen (Muschelkalkverwitterung) hatten die Gau-Bickelheimer Böden einen meist deutlich höheren

Kalkgehalt (34 - 48% gegenüber 8,6 - 51% in Rehlungen), eine feinere Verteilung des Kalks und einen erheblich höheren Aktivkalkgehalt (13 - 17% gegenüber 1,0 - 3,3%). Daher kann angenommen werden, daß Grünsalz in den Gau-Bickelheimer Böden wesentlich schneller inaktiviert wurde.

Die Grünsalz-Depots waren auch 2½ Jahre nach Anlage der Versuche noch sehr gut an ihrer gelb- bis rostroten Farbe zu erkennen. In den Depots der Rehlinger Muschelkalk-Böden sank gegenüber unbehandeltem Boden das pH durchschnittlich von 7,38 auf 7,19, der Phosphatgehalt von 102 auf 12 mg/100 g, das CAL-lösliche Fe stieg dagegen von 71 auf 369 mg/kg. Im zweiten Versuchsjahr war in einer Grünsalzparzelle ein hoher Mehrertrag, im dritten Versuchsjahr in einzelnen Flächen eine wesentlich stärkere Grünfärbung der Blätter festzustellen.

In den Freilandversuchen stieg der Gehalt an Gesamt- und 0,5n HCl-löslichem Fe in den Blattspreiten nach Grünsalzdüngung nicht eindeutig an. In Rappen, Beeren und Most erhöhte er sich dagegen durchschnittlich um 15%, 14% bzw. 4%, während der Mn- und Zn-Gehalt um die gleiche Größenordnung abnahm. Auch in zahlreichen Gefäßversuchen war die Beziehung zwischen der Grünsalzdüngung und dem Fe-Gehalt der Blattspreiten nicht eindeutig. Nur nach Sequestren-Düngung wurden oft erhöhte Fe-Gehalte in den Blättern gefunden. Im Freiland stieg nach Sequestren-Applikation der Fe-Gehalt in Rappen, Beeren und Most z. T. stark an. In den Gefäß- und Freilandversuchen war nach Grünsalzdüngung in den Blattspreiten weder eine eindeutige Abnahme des P-Gehalts noch eine Verengung des P/Fe-Verhältnisses festzustellen. Eine indirekte, auf der Ausfällung von Phosphat im Boden beruhende Wirkung des Grünsalzes konnte nicht nachgewiesen werden.

Das aus dem Grünsalz stammende  $SO_4^{++}$  verbindet sich mit dem  $Ca^{++}$  des Kalkbodens zu Gips, wodurch der Kalkgehalt sinkt. In einem Lysimeter-Modellversuch mit verschiedenen Kalkböden wurde nach Grünsalzdüngung (umgerechnet 50 t/ha) vor allem Sulfat ausgewaschen. Der höchste Sulfatgehalt (3413 mg/l) und der stärkste pH-Abfall (von 8,1 auf 6,7) wurden im Sickerwasser eines Lößbodens gefunden. Solche Böden sollten aus Gründen des Boden- und Umweltschutzes nur mäßig mit Grünsalz gedüngt werden. Auf schweren Kalkböden erscheint eine zweimalige Depotdüngung (je 15 t/ha im Abstand von ca. fünf Jahren) verantwortbar. Mit Grünsalz gelangen nur sehr geringe Mengen toxischer Schwermetalle in den Boden. So erhöhen 15 t/ha Grünsalz den Cd-Gehalt in 0 - 20 cm Tiefe um 0,0007 mg/kg.

Die Kosten für Dünger und Arbeitslohn beliefen sich in den unter praxisnahen Bedingungen durchgeführten Versuchen auf ca. 3230 DM/ha (Grünsalz) bzw. 4270 DM/ha (Sequestren-138-Fe). Angesichts der beschränkten Chlorose-vorbeugenden Wirkung des Grünsalzes erscheint sein Preis zu hoch. Nicht zuletzt wegen der z. Z. erheblichen wirtschaftlichen Schwierigkeiten vieler deutscher Winzer sind die Möglichkeiten, Grünsalz zur Vorbeugung der Chlorose einzusetzen, begrenzt.



## Investigation of the usability of 'Grünsalz' (green salt) for prophylaxis and therapy of chlorosis in viticulture

During a period of five years, investigations were carried out to clarify the following problems: Can chlorosis of grapevines be remedied by fertilization with 'green salt' (main ingredient: iron sulphate)? How much green salt has to be applied, and in which way? Are negative effects on grapevines, soil or environment to be expected? The investigations were carried out in the laboratory, in the greenhouse and in the field (calcareous soils of Upper Moselle, Nahe and Rhine-hessen).

In the greenhouse, grapevines were damaged when they were cultivated in mixtures of 10 g green salt per kg air dried peat or 40 g green salt per kg calcareous soil. Slight damages appeared as reduced root and shoot growth, heavier damages were signaled by leaf burns. Considerably higher concentrations of green salt were tolerated when grapevine roots grew from calcareous soil into depots of 50 - 200 g green salt per kg air dried peat or 160 - 200 g green salt per kg calcareous soil. Only when the green salt concentration of the depot was very high (500 g per kg peat), grapevines were partly injured.

Investigations by electro-ultrafiltration (EUF) showed that easily soluble Fe in different calcareous soils did not increase until high amounts of green salt (250 - 1000 g per kg soil) were added. From this it was concluded that a depot fertilization with high amounts of green salt is required to prevent chlorosis. CAL-soluble Fe however increased clearly after addition of only 5 g green salt per kg weathered shelly limestone. Results from pot trials indicated that grapevine-available Fe was better characterized by the CAL extract than by EUF.

In the field, different methods of green salt application (spreading; injection into soil; depot fertilization with mixtures of peat and green salt; depot fertilization with green salt) were tested. The latter was most effective. Green salt was applied to the soil with a plow, a modified spreading fertilizer or a modified subsoiler. In the space between two rows, one stripe with 2.5 kg green salt per running metre was applied in a depth of 25 cm, 40 cm far from the grapevine row.

Depot fertilization was tried out in 28 testing vineyards in the regions of Rhine-hessen (Gau-Bickelheim) and Upper Moselle (Rehlingen). The effect was very different. In Gau-Bickelheim, fertilization with green salt was unsatisfactory and clearly less effective than fertilization with Sequestren-138-Fe (Sequestren was generally applied to the soil). Several parcels, fertilized with green salt, showed heavy chlorosis in the second year of trial and had to be treated with Sequestren-138-Fe. Fertilization with green salt was considerably more effective in Rehlingen, treated grapevines were nearly always greener than untreated. Classifying of chlorosis in Gau-Bickelheim and Rehlingen in the years 1984 and 1985 showed a weak effect of green salt in 33.3% and a clear to strong effect in 33.4% of the testing vineyards. Yield was

determined mainly in Rehlingen in such testing vineyards that showed greener leaves after green salt fertilization. A slight depression of yield (5 - 11%) was stated in 4 cases, an equally high yield in 2 cases, a slight increase (17 - 22%) in 2 cases and a strong increase (74 - 89%) in 3 cases. Thus the effect on yield varied strongly. After fertilizing with green salt, density of must was on an average by 1.8° Oechsle lower, acid was equal.

The poor effect of green salt in Gau-Bickelheim can likely be explained by soil properties (heavy tertiary Rupelton). Compared with Rehlingen (weathered shelly limestone), the Gau-Bickelheim soils mostly had a clearly higher content of lime (34 - 48% in comparison with 8.6 - 51% in Rehlingen), a finer distribution of calcium carbonate and a considerably higher content of "active" calcium. Therefore it can be assumed that in the Gau-Bickelheim soils green salt was inactivated considerably quicker.

Green salt depots were coloured yellow- to rust-brown and thus could be recognized clearly even 2½ years after the beginning of the trials. In the depots of the Rehlingen weathered shelly limestone, pH decreased from 7.38 to 7.19, phosphate from 102 to 12 mg/100 g, CAL-soluble Fe however increased from 71 to 369 mg/kg (compared with untreated soil). In the second year of trial, yield was strongly higher in one green salt parcel. In the third year, leaves were considerably greener in a few green salt parcels.

In the field trials, the content of total and 0.5N HCl-soluble Fe in the leaf blades did not increase unequivocally after green salt fertilization. Fe increased however in cluster stalks, berries and must on an average by 15%, 14% and 4%, whereas Mn and Zn contents decreased in the same order. In many pot trials, the relation between green salt fertilization and Fe content of leaf blades was also not unequivocal. Increased Fe contents in leaves were only found after fertilization with Sequestren. In the field, Fe in cluster stalks, berries and must partly increased strongly after Sequestren fertilization. In pot and field trials, P and the P/Fe ratio in leaf blades did not diminish after green salt fertilization. An indirect effect of green salt, based on the precipitation of phosphate in the soil, could not be detected.

In calcareous soils,  $SO_4^{4-}$  from green salt combines with  $Ca^{++}$  into gypsum, thus leading to a reduced calcium carbonate content. In a lysimeter trial, carried out in the laboratory with different calcareous soils and green salt fertilization (corresponding to 50 t/ha), mainly sulphate was washed out. Highest sulphate content (3413 mg/l) and strongest pH decrease (from 8,1 to 6,7) were found in the seepage water of a loess soil. Such soils should be fertilized only moderately with green salt in order to protect soil and environment. Heavy calcareous soils may be treated by depot fertilization two times with each 15 t/ha green salt at intervals of about five years. Green salt only carries very small amounts of toxic heavy metals into soil. Thus 15 t/ha green salt raise the Cd content in 0 - 20 cm depth by 0.0007 mg/kg.

The costs for fertilizer and wages amounted in the practice-orientated field trials to about 3230 DM/ha (green salt)

respectively 4270 DM/ha (Sequestren-138-Fe). Considering the restricted chlorose-preventing effect of green salt, its price seems too high. Not least because of the present economic problems of many german wine-growers, the possibilities of using green salt for prophylaxis of chlorosis are limited.

## 8. Literatur

- ANDERSON, C. A. (1982): The effect of high pH and P on the development of lime-chlorosis in two seedling populations of *Eucalyptus obliqua* L'Hérit. *Plant and Soil* 69, 199-212.
- BECKER, T. H. (1982): "Begrünung ist in" (Nur Mode oder Notwendigkeit?). IV. Internationales Kolloquium Begrünung im Weinbau, 14.-17. September 1982, Kaltern, Südtirol, S. 1-4.
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1981): Ackerbau. Grundlagen der Pflanzenproduktion. DLG-Verlag Frankfurt/M.
- BOSS, A., KOLESCH, H. und HÖFNER, W. (1982): Chlorose-Ursachen bei Reben (*Vitis vinifera* L.) am natürlichen Standort. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 145, 246-260.
- BOXMA, R. (1972): Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil* 37, 233-243.
- BÜBL, W. (1981): Eisen-Chlorose bei der Weinrebe - Löslichkeit und Verteilung von Eisen in grünen und chlorotischen Blättern sowie die Bedeutung des Bicarbonates. Diss. Gießen.
- BUCHER, R. (1972): Die Kalkchlorose - ihr Auftreten und ihre Bekämpfung. *Rebe und Wein* 25, 160-163.
- EHLERS, W. (1973): Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung in unbearbeiteten und bearbeiteten Lössböden. *Z. f. Pflanzenern. u. Bodenk.* 134, 193-207.
- EMIG, K.-H. (1985): Die Chlorose der Reben. V.E.O.-Information Oppenheim.
- GARTEL, W. (1965): Über die Ursachen der Chlorose auf verdichteten Kalkböden. *Weinberg und Keller* 12, 143-164
- HAKERLERLER, H. und HÖFNER, W. (1982): Wechselwirkungen von Fe, Zn, und Mn bei Mais im Gefäßversuch. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 145, 88-90.
- HEMEL, J. W. (1959): Zur Wirkungsweise des Bodenkrümlers Flotal. I. Teil: Grundlagenforschung. *Weinberg und Keller* 6, 3-9. II. Teil: Auswirkungen einer Flotalbehandlung auf schweren Böden. *Weinberg und Keller* 6, 70-75, 88-95.
- KADISCH, E. (1970): Bodenpflege im Weinbau unter Berücksichtigung moderner weinbautechnischer Möglichkeiten. *Festschrift 1895-1970 der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau und Gartenbau Oppenheim*, 28-65.
- KANNENBERG, J. (1984): Rebenchlorose aus aktueller Sicht. *Rebe und Wein* 37, 220-221.
- KOLBE, W. (1983): Kulturpflanzenanbau und Unkrautbekämpfung - Eine vergleichende Betrachtung unter Berücksichtigung der Dauerversuche Höfchen und Laacherhof an 40 Kulturpflanzen. *Pflanzenschutznachrichten Bayer* 36, 209-381.

- KOLESCH, H. (1985): Die Eisenmangelchlorose der Weinrebe (*Vitis vinifera* L.). - Einfluß von Bikarbonat und Phosphat unter Berücksichtigung der genetisch fixierten Chloroseanfälligkeit zweier Unterlagen. Diss. Gießen.
- MALISSIOVAS, N. (1980): Eisenchlorose bei der Weinrebe, kausale Zusammenhänge der sie auslösenden Faktoren und Prozesse. Diss. Gießen.
- MARSCHNER, H. (1978): Beziehung zwischen der Eisenversorgung von Weinreben und dem pH-Verlauf in der Nährlösung. *Vitis* 17, 152-160.
- MAIER, W. (1942): Was wissen wir heute von der Chlorose? *Forschungsdienst* 13, 149-169.
- MENGEL, K., SCHERER, H. W. und MALISSIOVAS, N. (1979): Die Chlorose aus der Sicht der Bodenchemie und Rebenernährung. *Mitt. Klosterneuburg* 29, 151-156.
- MENGEL, K. und BÜBL, W. (1983): Verteilung von Eisen in Blättern von Weinreben mit  $\text{HCO}_3^-$ -induzierter Fe-Chlorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 146, 560-571.
- MENGEL, K. BREININGER, Th. and BÜBL, W. (1984): Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine gaps on calcareous soil. *Plant and Soil* 81, 333-344.
- MOHR, H. D. (1980): Einfluß der Bodeneigenschaften auf das Wurzelwachstum. *Kali-Briefe* 15, 305-316.
- MOHR, H. D. (1985): Schwermetalle in Boden, Rebe und Wein - Untersuchungen zur Anreicherung von Schwermetallen aus Siedlungsabfällen (Müllkompost, Müllklärschlammkompost) in Weinbergböden, Reben, Most und Wein. *Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten; Angewandte Wissenschaft, Heft 308, 1-213; Landwirtschaftsverlag GmbH 4400 Münster-Hiltrup.*
- MOHR, H. D. (1985 a): Extraction of easily soluble fractions of Fe and other heavy metals from various substrates by electro-ultrafiltration (EUF) and their relation to the heavy-metal contents of plants. *Plant and Soil* 83, 65-76.
- MOHR, H. D. (1987): Bodenpflege und Düngung im Weinbau der Schweiz - Notizen einer Informationsfahrt. *Die Winzer-Zeitschrift* 2, Juni-Heft, 28-29.
- MÜLLNER, L. (1979): Ergebnisse eines Chloroseforschungsprojektes. *Mitt. Klosterneuburg* 29, 141-150.
- NÉMETH, K. (1976): Die effektive und potentielle Nährstoffverfügbarkeit im Boden und ihre Bestimmung mit Elektro-Ultrafiltration (EUF). *Habilitationsschrift Gießen.*
- PATEL, G. J., RAMAKRISHNAYYA, B. V. und PATEL, B. K. (1977): Effect of soil and foliar application of ferrous sulphate and of acidulation of soil on iron-chlorosis of paddy seedlings in India. *Plant and Soil* 46, 209-219.
- PERRET, P. (1982): Beziehungen zwischen Bodenatmosphäre, Bodenpflege und dem Auftreten der Chlorose. *Mitt. Klosterneuburg* 29, 166-169.
- PERRET, P. (1982): Bekämpfung der Verdichtungschlorose durch Absenkung des Wassergehaltes im Untergrund mittels tiefwurzelnder Begrünungspflanzen. IV. Internationales Kolloquium Begrünung im Weinbau, 14.-17. September 1982, Kaltern, Südtirol, 74-77.
- PERRET, P. und KOBLET, W. (1979): Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Äthylengehalt der Bodenluft und dem Auftreten der Rebenchlorose. *Die Wein-Wissenschaft* 34, 151-170.

- RASP, H. (1984): Control of grape chlorosis through nutrient applications on leaves. Aus: Alexander, A. (Editor): Foliar fertilization. Martinus Nijhoff publishers 242-253.
- REDL, H. (1984): Die Beeinflussung des Chloroseauftretens durch die Erziehungshöhe der Reben in Weitraumanlagen. Die Wein-Wissenschaft 39, 219-225.
- REDL, H. und LIEBHARD, P. (1981): Untersuchungen über den Einfluß hoher beziehungsweise einseitiger Nährstoffversorgung des Bodens auf das Wachstum der Rebe und das Auftreten der Rebchlorose. Mitt. Klosterneuburg 31, 43-51.
- RUCKENBAUER, W. (1981): Stand der Chloroseforschung im Weinbau. Exposé de l'Autriche. OIV, 61<sup>me</sup> assemblée générale Vienne. Commission I: Viticulture, 133-143.
- SAROHA, M.S. und SINGH, H.G. (1979): Effect of prevention of iron-chlorosis on the quality of sugarcane grown on vertisols. Plant and Soil 52, 467-473.
- SCHALLER, K. (1983): Die Chlorose der Weinreben - Entstehung und Möglichkeiten zu ihrer Bekämpfung. Deutsches Weinbaujahrbuch 1983, 119-144.
- SCHEU, G. (1950): Mein Winzerbuch. Neustadt/Haardt.
- SCHOLL, W. (1979): Über die Chlorose der Weinrebe: Erfahrungen und neuere Erkenntnisse. Weinberg und Keller 26, 289-306.
- SCHRADER, L. (1970): Eine kritische Betrachtung der Rebenchlorose unter besonderer Berücksichtigung bodenkundlicher und pflanzenphysiologischer Gesichtspunkte. Weinberg und Keller 17, 113-130.
- SHARMA, B. D. und KATYAL, J. C. (1982): Changes in DTPA-iron and management of iron-chlorosis in rice nurseries. Plant and Soil 69, 123-126.
- STEINBERG, B. (1985): Methoden zur Untersuchung von Bodenverdichtungen im Weinbau. Deutsches-Weinbaujahrbuch 1985, 105-110.
- STRENG, P. (1984): Praktische Erfahrungen mit der Behebung der Chlorose. Der Deutsche Weinbau 39, 801-803.
- VENKATRAJU, K. and MARSCHNER, H. (1981): Inhibition of iron-stress reactions in sunflower by bicarbonate. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 144, 339-355.
- WELLER, F. (1965): Die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln im Boden in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Faktoren. Eine Literaturlauswertung unter besonderer Berücksichtigung der Obstgehölze. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim 32. Eugen Ulmer Stuttgart.

### Danksagung

Dem Bundesministerium des Inneren danke ich für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen, Herrn Dr. R. Mach, Umweltbundesamt, für die gute Zusammenarbeit und verschiedenen Winzern (s. S. 72) für die Bereitstellung von Weinbergsflächen und ihr Engagement bei der Durchführung der Feldversuche.