ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/259397441

Anreicherung von Silizium in den Blättern von Müller-Thurgau und Silvaner im Verlaufe zweier Vegetationsperioden und in Abhängigkeit einer Silikatdüngung Accumulation of silicon in...

Article · January 1990

CITATIONS
0

READS
56

3 authors, including:

Klaus Schaller
Geisenheim University
76 PUBLICATIONS **220** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Berry composition and extractability of mineral nutrients View project

Project Soil fertility and carbon sequestration in vineyards View project

All content following this page was uploaded by Klaus Schaller on 22 December 2013.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Anreicherung von Silizium in den Blättern von Müller-Thurgau und Silvaner im Verlaufe zweier Vegetationsperioden und in Abhängigkeit einer Silikatdüngung

Accumulation of silicon in the leaves of Müller-Thurgau and Silvaner during two vegetation periods and depending on silicon fertilization

Enrichissement en Silicium dans les feuilles de Müller-Thurgau et Sylvaner durant 2 periodes végétatives en relation avec un amendement de Silicate de Calcium.

K. Schaller, O. Löhnertz, S. Muskat

Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung, Postfach 1154, D-6222 Geisenheim

Schaller, K., Löhnertz, O., Muskat, S. 1990. Accumulation of silicon in the leaves Müller-Thurgau and Silvaner during two vegetation periods and depending on silicon fertilization. Vitic. Enol. Sci. 45, 128–134

Abstract
In a fertilizer trial grapevines were fertilized with 25 and 50 q/ha calciumsilicate. During the vegetation periods 1987 and 1988 leaves from different parts of the canopy were tested for their silicon content. It could be shown that during 1987 with high precipitation rates the silicon content in all leaves decreased and in contrary in 1988 the silicon content increased during the vegetation time.
Differences between the two varieties are not significant in this trial but show that in Silvaner the Si-content is slightly higher. Application of calciumsilicate lead to an spronounced accumulation in leaves throughout the canopy. There exists also a great influence of the year.

Key Words: Si, leaves, fertilization, dry matter, weather conditions, soil solution

1. Einleitung

Löslichkeit und Si-Konzentration in der Bodenlösung

Silikate stellen den überwiegenden Teil der anorganischen Bodenbestandteile dar und trotzdem wird vielfach in der Literatur über eine wachstums- und ertragsfördende Wirkung auf landwirtschaftliche Kulturen berichtet (AYRES 1966, MIYAKE und TAKAHASHI 1983, RASP 1981).
Ursache hierfür kann die geringe Löslichkeit der monomeren Kieselsäure in der Bodenlösung sein, die nach MUNK (1981) nur zwischen 2–40 mg SiO_2/l Bodenlösung beträgt. Sie dissoziiert erst oberhalb pH 9 und liegt dann als Silikatanion vor.
Das in der Bodenmatrix gelöste Silizium ist monomere Kieselsäure. In reinen, wässrigen Lösungen beträgt die Löslichkeit hingegen 120–140 mg SiO_2/l bis pH 9 (ALEXANDER, 1954).
Die Konzentration an gelöster Kieselsäure im Bodenextrakt von 20 Standorten in der Bundesrepublik ist mit 2–20 mg SiO_2/l wesentlich geringer. Ein Anstieg der Werte kann mit steigenden Tongehalten beobachtet werden, wobei der eigentliche Anstieg erst oberhalb ca. 20 % Ton einsetzt (MUNK, 1981). Die höchste Löslichkeit findet sich in den Ap-, die geringste in den B- und C-Horizonten. Der Siliziumgehalt in den B- und C-Horizonten entspricht in etwa der Löslichkeit des Quarzes, die je nach Korngröße im Bereich von 3–7 mg SiO_2/l liegt.
Einer Erhöhung von löslichem Silizium im Boden werden folgende Effekte zugesprochen:
Die Kieselsäure hat ihrerseits die Fähigkeit, Phosphorsäure vom Sorptionskomplex des Bodens durch Ionenaustausch zu verdrängen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL).
Die im Boden ablaufende Entbasung kalkreicher Silikate, wie dem Hüttenkalk, hinterläßt eine quellfähige Hülle von Kieselsäure mit günstigem Einfluß solcher Gele auf die Bodenstruktur (GANSSMANN 1962).
Des weiteren wird der Vorrat des Bodens an leicht verfügbarer Kieselsäure erhöht.
JONES und HANDRECK (1965) finden nach einer Düngung mit 100 ppm SiO_2 im Gefäßversuch bei steigem Entzug ein kontinuierliches Auffüllen der Bodenlösung. Als Quelle wird amorphe SiO_2 vermutet.

Silizium in der Pflanze

Die Aufnahme von Silizium erfolgt mit dem Wasserstrom in monomerer, undissoziierter Form als Orthokieselsäure $Si(OH)_4$ (JONES/HANDRECK, 1965).
HUTTON und NORRISH (1974) fanden an Weizen eine gute Übereinstimmung zwischen der Konzentration in der Bodenlösung und den Siliziumgehalten der Pflanzen.
Da sowohl aktive Aufnahme, passive Aufnahme oder aktives Ausschließen die Si-Gehalte maßgeblich beeinflussen können, führte die Unterscheidung von Si-Akkumulatoren und Nicht-Akkumulatoren über die Si-Gehalte in den Blättern mit durchschnittlich 2 % und 0,25 % SiO_2. Aktive Aufnahme dominiert bei monokotylen Pflanzen wie Gramineen, Cyperaceen und Musaceen. Bei dikotylen Pflanzen hingegen dominiert die passive Aufnahme; dort gilt unter anderem, daß die Konzentration im Xylem gleich der Konzentration der Bodenlösung ist. Sind die Konzentrationen des Xylems kleiner als die der Bodenlösung, wie z. B. bei der Tomate und den Leguminosen, dann liegt aktiver Ausschluß vor (VAN DER VOOM, 1980).
In der Pflanze wird die Kieselsäure in akropetaler Richtung mit dem Transpirationsstrom transloziert und in allen Pflanzenteilen abgelagert (LEUSCH 1986). Deutliche Beziehungen bestehen zwischen Lokalisation der Ablagerungen und dem Transpirationssystem; an den Orten hoher Wasserabgabe, wie Blättern, werden die höchsten Siliziumgehalte gefunden (5–10 % der Trockensubstanz bei Getreide, 90 % des Gesamt-SiO_2 bei Reis).
$Si(OH)_4$ weist eine sehr schlechte, basispetale Verlagerung auf und gilt als phloemimmobil, die Verteilung im Trieb kann als Xylemtransport erklärt werden.

Si-Bindungsformen in Pflanzen

Folgende Bindungsformen können in pflanzlichem Gewebe gefunden werden:
- Lösliche, anorganische Kieselsäure

- Si-Kohlenhydrat-Komplexe, locker an andere organische Verbindungen und Phosphate gebunden
- Unlösliche, polymerisierte Ablagerungen = Bio-Opal

Im Xylemsaft liegt das Si in übersättigter Lösung vor, die über Kohlenhydratkomplexe stabilisiert wird (YOSHIDA et al., 1962, ENGEL 1953). Sie stellen vermutlich auch die Transportformen dar; polymere Si-Verbindungen hingegen die immobilen Ablagerungen (LEUSCH 1986).

Lokalisierung und Ablagerung

SiO_2-Ablagerungen erfolgen in erster Linie entlang des Transpirationsstromes und konzentrieren sich an Transpirationsendpunkten. An den Blättern bilden sich dabei Cellulose-Kieselsäure-Membranen bis hin zu durchgehenden Siliziumschichten zwischen Kutikula und Epidermiszellen. Diese Ablagerungen sollen im wesentlichen aus Bio-Opal (SiO_2 x nH_2O) bestehen (MUNK, 1981).
Verschiedene Zellen und Interzellularräume werden völlig mit charakteristischen Kieselkörpern aufgefüllt, sie werden als Phytolithe bezeichnet. Silizium-Ansammlungen in Blättern haben einen basipetalen Gradienten mit den höchsten Anreicherungen an der Blattspitze (WADHAM, 1981).
Die oft erheblichen Einlagerungen in die Xylemgefäße werden einer polymerisierenden Fähigkeit von Polyphenolen zugesprochen (PARRY und KELSO, 1975).

Der Verkieselungsprozeß

Welche Blattzellen verkieseln, hängt von der Art, der Spezies und dem Blattalter ab. Faktoren, die eine Verkieselung hervorrufen können, sind Blattschädigungen, Wurzelschädigungen und Angriff von Pilzen (BENNETT, 1982). BENNET (1982) beschreibt detailliert die Silifizierung von Blattepidermiszellen bei Gerste.

Bedeutung als pflanzenwirksamer Bestandteil

Die meisten Pflanzen sind aufgrund des natürlichen Angebotes der Böden stets mit Silizium angereichert. Seine stoffwechselphysiologische Notwendigkeit ist offen, es wird als ein in geringsten Dosen wirksames Nährelement angesehen (LEUSCH, 1986).
Seine Wirkungen werden allgemein abgeleitet aus Versuchen mit Si-Überangebot, verglichen mit einer Kontrolle ohne Si. Einen Überblick über Si-Mangelsymptome gibt FIDANSOVSKI (1986).
Si-reiche Pflanzen zeigen in der Regel eine erhöhte Widerstandskraft gegenüber pilzlichen Schaderregern.
Si ist verantwortlich für eine Penetrationshemmung, die gegenüber Ektoparasiten wie dem Mehltau wirksam wird, die direkt durch die Kutikula und die Epidermis penetrieren und auf keine Stomata angewiesen sind.
Bei Weizenblättern und -ähren ermittelte LEUSCH (1986) in Gefäßversuchen mit Erregerinokulation und silikatischer Düngung eine Reduktion des Frühbefalls durch Mehltau verbunden mit steigendem SiO_2-Gehalt der Pflanzen. Eine Verzögerung der Befallsausbreitung war allerdings erst ab einem Gehalt von mindestens 1 % SiO_2 i. Tr. S. zu verzeichnen. Die Schutzwirkung nahm mit steigendem Gehalt zu, und erst ab einem Gehalt von 3 % i. Tr. S. war der Befall fast gänzlich unterbunden. In einem Feldversuch der Forschungsanstalt Speyer reichte bereits ein Anstieg von 0,27 % auf 0,47 % SiO_2 i. Tr. S. bei Wintergerste zu starker Befallsreduktion (LEUSCH, 1986). Der bei Getreide übliche Resistenzmechanismus besteht darin, daß sich an der Penetrationsstelle eine Papille bildet, die bereits vor der Infektion entsteht, wenn mit dem Penetrationskeil Druck auf das Gewebe ausgeübt wird (CARVER et. al, 1987).
Der Erreger muß Zellwand und Papille durchdringen. Wird diese Struktur durch Si verstärkt, so führt das zu einer Verzweigung der Appressorien. Nach drei Infektionsversuchen stirbt die Konidie samt Appressorium meist ab (LEUSCH 1986). Nicht jedem erfolglosem Angriff kann allerdings eine Zunahme des Si im Blattgewebe zugeordnet werden.
Nicht nur bei Monokotyledonen kann die Si-Anreicherung nachgewiesen werden, sondern auch bei Dikotyledonen. HEATH (1981) fand an Kuhbohnen nach Inokulation mit Bohnenrost hohe Si-Anreicherungen an der Penetrationsstelle. Es wird zusätzlich eine Reaktion sekundärer Si-Verbindungen mit phenolischen Inhaltsstoffen der desorganisierten Zelle in Erwägung gezogen.
Worauf die penetrationshemmende Wirkung der Kieselsäure beruht, ist noch nicht endgültig geklärt. Die verschiedenen Hypothesen werden von GERMAR (1934), WAGNER (1940), EDWARDS (1970), LEUSCH (1986), BLAICH (1989), ZEYEN et. al. (1983) diskutiert.
In der vorliegenden Arbeit sollen erste Studien an verschiedenen Rebsorten aufzeigen, welche Anreicherungsmuster für Si bei dieser Pflanzengattung vorliegen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Im Jahr 1984 wurde auf einem tonigen Lehm mit schwach alkalischer Bodenreaktion von pH 7.5 in der Gemarkung Gau-Algesheim/Rheinhessen ein Kalkdüngungsversuch mit steigenden Mengen an Hüttenkalk angelegt. Folgende Varianten werden in dem Versuch geprüft:
1. Kontrolle ohne Hüttenkalk
2. 25 dt/ha Hüttenkalk und Jahr
3. 50 dt/ha Hüttenkalk und Jahr

Die Fläche ist je zur Hälfte mit Silvaner und Müller-Thurgau jeweils auf der Unterlage SO 4 bestockt.
Der Standraum beträgt 2.16 m^2, der Anschnitt wird auf 6–8 Augen/m^2 eingestellt.
Nach vierjähriger Laufzeit des Versuches wurden die Untersuchungen an den Reben vorgenommen.
Die Untersuchungen wurden während der Vegetationszeit 1987 und 1988 durchgeführt.

2.2 Blattprobeentnahme und Aufbereitung

Die Blätter wurden zu vier Entwicklungsstadien der Reben entnommen:
Stadium 25: Abgehende Blüte, 80 % der Blütenkäppchen abgeworfen
Stadium 31: Beeren erbsengroß, Trauben hängen
Stadium 35: Reifebeginn, Beeren beginnen sich zu verfärben
Stadium 38: Beeren befinden sich im Reifestadium (Lesereife)
Es wurden Blätter jeweils aus drei Insertionshöhen entnommen:
Unten: Blätter aus der Traubenzone
Mitte: 8–9-Blatt
Oben: akropetales Blatt
Die Blätter wurden sofort nach der Entnahme im Labor sorgfältig gereinigt, insbesondere Bodenteilchen müssen unter allen Umständen entfernt werden, da sie die Analyse erheblich verfälschen können.
Die Trocknung erfolgt für mindestens 48 h bei 70 °C im Umluft-trockenschrank. Danach werden die Proben direkt vermahlen.

2.3 Si-Bestimmung

100 mg getrocknetes und feinvermahlenes Blattmaterial werden nach einem von MUNK beschriebenen Verfahren aufgeschlossen. Die Bestimmung der Kieselsäure erfolgte aus den filtrierten Aufschlüssen direkt in der Fließinjektionsanalyse.
Folgendes Reaktionsschema liegt der Si-Bestimmung zugrunde: Ammoniummolybdat reagiert bei einem pH-Wert um 1.2 sowohl mit Silikat als auch mit Phosphat unter Bildung einer Heteropolysäure. Fügt man dem Reaktionsansatz Oxalsäure zu, so wird die Molybdänphosphorsäure zerstört, die Molybdänkieselsäure hingegen nicht. Die entstehende gelbe Farbe wird durch Zinnchlorid zu einem Heteropolyblau reduziert. Letztere ist intensiver als die gelbe Farbe und sie wird proportional dem vorhandenen Si gebildet. Die Messung erfolgt bei 695 nm.
Die FIA-Applikation kann der Abbildung 1 entnommen werden.

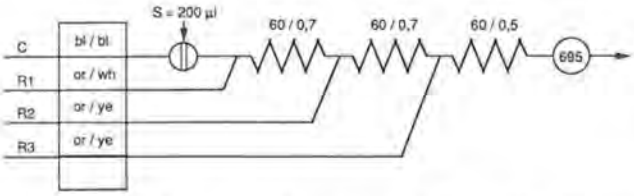

Abb. 1: FIA-Fließschema zur Bestimmung von Silizium in Pflanzenaufschlüssen
Fig. 1: Flow injection scheme (FIA) for the determination of silicon in plant extracts
Fig. 1: Schéma pour la détermination de silicium selon „flow injection analysis" (FIA)

Für eine Bestimmung wurde ein Probenvolumen von 200 µl injiziert. Die verwendeten Reagenzien sind folgende:
C = Trägerstrom = destilliertes Wasser
R1 = 50 gr $(NH_4)_6Mo_7O$ x 4 H_2O werden in destilliertem Wasser unter Zusatz von 17 ml H_2SO_4 conc. unter Erhitzen gelöst. Die erkaltete Probe wird mit destilliertem Wasser zum Liter gelöst.
R2 = 70 gr $H_2C_2O_4$ x $2H_2O$ werden in 20 ml H_2SO_4 conc. gelöst und mit destilliertem Wasser zum Liter gelöst.
R3 = 0.1 gr $SnCl_2$ und 1 gr $N_2H_6SO_4$ werden in 14 ml H_2SO_4 conc. gelöst und mit destilliertem Wasser auf 500 ml gelöst. Das Reagenz ist maximal eine Woche haltbar!
Vor Gebrauch sind alle Lösungen zu entgasen!
Die Zerstörung der Molybdänphosphorsäure läuft bei Raumtemperatur sehr langsam, deshalb wird nach dem Oxalsäurestrom eine Heizschleife eingebaut, die auf 40 °C geheizt wurde.

3. Ergebnisse

3.1 Silvaner

3.1.1 Trockensubstanzgehalte der Blätter

Die Trockensubstanzgehalte der Blätter aus den verschiedenen Insertionshöhen für die beiden Vegetationsperioden 1987 und 1988 sind in der Tabelle 1 und 2 zusammengestellt.
1987 liegen die Trockensubstanzgehalte in allen Behandlungen und Insertionshöhen sehr eng zusammen. Zum Entwicklungsstadium 35 ist ein Anstieg festzustellen. In allen Bereichen stiegen die Trockensubstanzgehalte um durchschnittlich 10 %-Punkte an. In der Abreifephase fallen sie hingegen um ca. 25 %-Punkte auf durchschnittlich 22.1 % Trockensubstanz ab.

Tabelle 1: Trockensubstanzgehalte von Blättern der Sorte Silvaner während verschiedener Stadien der Rebenentwicklung, unterschiedlicher Insertionshöhe und in Abhängigkeit differierender Düngungsmaßnahmen im Jahr 1987.
Table 1: Dry matter content in leaves of the variety Silvaner during different phenological stades, differing insertion height and dependant on fertilization practice in 1987.
Tabl. 1: Contenu de matière sèche dans les feuilles de la varieté Silvaner pendant differentes stades phénologiques, insertions différentes et dépendant de la pratique de fertilisation en 1987

Behandlung Hüttenkalk (dt/ha)	Insertionshöhe	Abgehende Blüte	Erbsengröße	Veraison	Lesereife
Kontrolle	unten	26.8	26.4	28.3	22.1
	mitte	25.1	26.6	29.9	21.8
	oben	25.3	28.0	29.5	22.0
Mittelwert		25.7	26.9	29.3	21.9
25 dt/ha	unten	26.5	26.5	28.5	21.9
	mitte	25.7	26.6	28.9	22.9
	oben	24.9	26.4	30.2	20.8
Mittelwert		25.8	26.5	29.2	21.9
50 dt/ha	unten	26.6	26.5	28.1	22.6
	mitte	26.3	25.9	29.4	22.3
	oben	25.7	26.4	30.1	22.4
Mittelwert		26.3	26.2	29.3	22.4

Tabelle 2: Trockensubstanzgehalte von Blättern der Sorte Silvaner während verschiedener Stadien der Rebenentwicklung, unterschiedlicher Insertionshöhe und in Abhängigkeit differierender Düngungsmaßnahmen im Jahr 1988
Table 2: Dry matter content in leaves of the variety Silvaner during different phenological stades, differing insertion height and dependant on fertilization practice in 1988
Tabl. 2: Contenu de matière sèche dans les feuilles de la varieté Silvaner pendant differentes stades phénologiques, insertions différentes et dépendant de la pratique de fertilisation en 1988

Behandlung Hüttenkalk (dt/ha)	Insertionshöhe	Abgehende Blüte	Erbsengröße	Veraison	Lesereife
Kontrolle	unten	24.8	26.6	27.5	27.2
	mitte	23.2	27.0	28.6	32.3
	oben	20.0	25.3	27.8	30.4
Mittelwert		23.3	26.5	28.0	30.3
25 dt/ha	unten	24.6	27.1	27.0	26.5
	mitte	24.3	26.5	28.2	28.9
	oben	19.9	24.0	27.8	30.0
Mittelwert		23.7	26.1	27.7	28.6
50 dt/ha	unten	24.6	26.6	27.6	28.2
	mitte	23.6	26.8	27.4	28.4
	oben	20.9	25.8	26.8	29.8
Mittelwert		23.6	26.5	27.3	28.8

Während der Vegetationsperiode 1988 hingegen wird ein deutlicher Gradient ersichtlich: Zur Phase 25 sind die Gehalte in den älteren Blättern höher als in den jüngeren. Zwischen den Phasen 31 bis 35 nähern sich die Trockensubstanzgehalte in allen drei Insertionshöhen an. Zur Phase 38 setzt im Gegensatz zur Vegetationsperiode 1987 ein entgegengesetzter Gradient ein und die Trockensubstanzgehalte steigen bis zur Lesereife hin an.

3.1.2 Siliziumgehalte

Die durchschnittlichen Siliziumgehalte in den Blättern sind in Abhängigkeit von der Hüttenkalkdüngung und der Insertionshöhe zu den 4 Untersuchungsterminen „abgehende Blüte" (25), „Erbsengröße" (31), „Veraison" (35) und „Lesereife" (38) in der Abbildung 2 dargestellt.
Alle untersuchten Varianten zeigen über den Untersuchungszeitraum einen einheitlichen Verlauf. Die jeweiligen Si-Gehalte sind je-

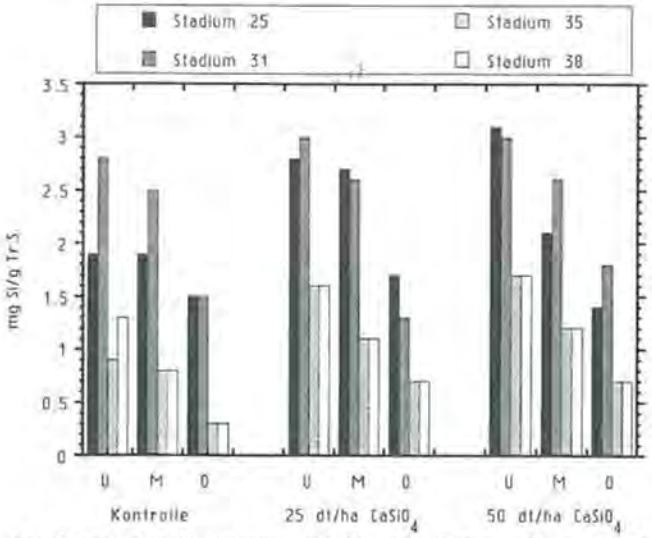

Abb. 2: Verlauf der Si-Einlagerung in Blätter der Rebsorte Silvaner in Abhängigkeit von der Si-Düngung im Jahr 1987

Fig. 2: Time course of Si-deposition in leaves of the variety Silvaner dependant on Si-fertilization in 1987 (Stadium 25 = past blossoming; Stadium 31 = grapes hanging; Stadium 35 = bunches closed, veraison; Stadium 38 = maturity)

Fig. 2: Deposition de Si dans les feuilles de la varieté Silvaner au cours du cycle végétatif et dependant de la fertilisation en 1987 (Stadium 25 = fin floraison; Stadium 31 = grain de pois; Stadium 35 = veraison; 38 = maturité)

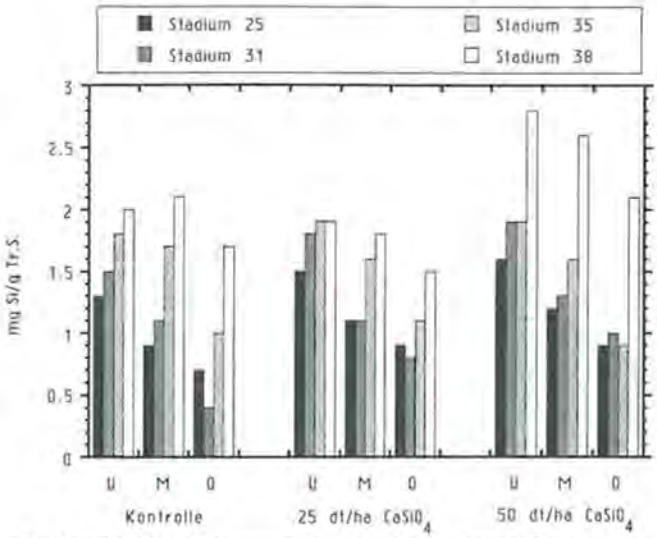

Abb. 3: Verlauf der Si-Einlagerung in Blätter der Rebsorte Silvaner in Abhängigkeit von der Si-Düngung im Jahr 1988

Fig. 3: Time course of Si-deposition in leaves of the variety Silvaner dependant on Si-fertilization in 1988 (Stadium 25 = past blossoming; Stadium 31 = grapes hanging; Stadium 35 = bunches closed, veraison; Stadium 38 = maturity)

Fig. 3: Deposition de Si dans les feuilles de la varieté Silvaner au cours du cycle végétatif et dependant de la fertilisation en 1988 (Stadium 25 = fin floraison; Stadium 31 = grain de pois; Stadium 35 = veraison; 38 = maturité)

doch unterschiedlich; die gedüngten Varianten haben in der Tendenz erhöhte Si-Gehalte, die allerdings nicht absicherbar sind.

In der Phase der abgehenden Blüte reichen die durchschnittlichen Si-Gehalte der Laubwand von 1.8 mg Si in der Kontrolle bis zu 2.4 mg Si/g Tr. S. in der ersten Düngungsstufe. In der höchsten Düngungsstufe werden nur 2.2 mg Si/g Tr. S. nachgewiesen. Die zugehörigen Spannen der Si-Gehalte betragen für die Kontrolle für „unten", „mitte" und „oben" 1.9, 1.9 und 1.5 mg Si/g Tr. s., für die erste Düngungsstufe 2.8, 2.7 und 1.7 mg Si/g Tr. S. und für die höchste Düngungsstufe 3.1, 2.1 und 1.4 mg Si/g Tr. S. Die Trockensubstanzgehalte der Blätter sind in allen Behandlungen mit 26 % Tr. S. nahezu gleich, so daß von einer echten Si-Anreicherung gesprochen werden kann.

In der Phase „Erbsengröße" der Beeren sind mit Ausnahme der Düngungsstufe 2 die Si-Gehalte gleich, denn die absoluten Differenzen der Si-Gehalte betragen in diesem Stadium nur 0.1–0,3 mg Si/g Tr. S. Auffallend ist, daß in der Kontrolle eine sehr starke Anreicherung um ca. 28 % erfolgt.

Zu Reifebeginn hingegen fallen in allen Varianten die Si-Gehalte sehr stark ab und zwar in der Kontrolle um 58 % auf 0.7 mg Si/g Tr. S., in der Düngungsstufe 1 um 52 % auf 1.1 mg Si/g Tr. S. und in der Düngungsstufe 2 ebenfalls um 52 % auf 1.2 mg Si/g Tr. S.

Bis zur „Lesereife" steigen die Si-Gehalte wieder geringfügig an. Die ausgeprägteste Zunahme weist die Kontrolle auf.

Der zeitliche Verlauf der Blatt-Si-Gehalte in den Insertionshöhen „unten", „mitte" und „oben" der 3 geprüften Varianten zu den vier Untersuchungsterminen ist in allen drei Insertionshöhen gleich, ein Unterschied besteht nur in der jeweiligen Höhe. Beachtenswert scheint in jedem Fall zu sein, daß im Jahr 1987 zum Weichwerden hin eine Abnahme in allen Blättern erfolgt; danach steigen die Si-Gehalte wieder an. Die jüngsten Blätter haben zu jedem Zeitpunkt die niedrigsten Si-Gehalte.

Der Verlauf der Si-Einlagerung im Jahr 1988 in Abhängigkeit von der Behandlung ist in der Abbildung 3 dargestellt.

Aus der Darstellung wird ersichtlich, daß beginnend mit der Blüte zur Reife hin eine stetige Anreicherung des Si stattfindet. In den Phasen „abgehende Blüte" und „Erbsengröße" weisen die mit Hüttenkalk behandelten Parzellen höhere Si-Gehalte in der Blatttrockenmasse auf. Zu Reifebeginn sind sie nahezu gleich und sie differenzieren sich wieder zur Lesereife hin. Zum letztgenannten Termin weist die Düngungsstufe 2 in allen Insertionshöhen die höchsten Gehalte an Si auf. Die Gehalte fallen von den ältesten zu den jüngsten Blättern von 2.8 über 2.6 auf 2.1 mg Si/g Tr. S. ab, wohingegen der Gradient in der Kontrolle von 2.0 über 2.1 auf 1.7 mg Si/g Tr. S. verläuft.

Betrachtet man die Entwicklung der Si-Gehalte in den verschiedenen Blattinsertionshöhen, über alle Behandlungen hinweg, so ist wiederum der gleiche Gradient erkennbar wie 1987, nämlich die Si-Gehalte nehmen von „unten" nach „oben" ab. Allerdings nehmen 1988 die Si-Gehalte in den Blättern von der Blüte zur Reife hin stetig zu.

3.2 Müller Thurgau

3.2.1 Trockensubstanzgehalte

Die Trockensubstanzgehalte der Blätter in Abhängigkeit von Behandlung, Insertionshöhe und Entnahmezeitpunkt sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Die Trockenmassegehalte der Blätter zeigen 1987 in allen Behandlungen die gleiche Tendenz: Im basipetalen Bereich sind sie höher als im akropetalen. Die verschiedenen Behandlungen mit Hüttenkalk haben darauf keinen Einfluß. Die Gehalte steigen bis zum Entwicklungsstadium 35 auf ø 38,8 % Tr. S. an und fallen bis zur Lesereife um 7 Prozentpunkte auf durchschnittlich 23,8 % Tr. S. ab.

Die Entwicklung der Trockenmassegehalte der Blätter im Jahr 1988 ist in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgezeigt. Im Gegensatz zum vorausgegangenen Jahr nehmen in allen Varianten und im Verlaufe der untersuchten Entwicklungsstadien die Trockensubstanzgehalte erwartungsgemäß zu. Die aus dem oberen Bereich der Laubwand entnommenen Blätter haben zum Zeitpunkt der abgehenden Blüte einen sehr geringen Trockenmassegehalt, vergli-

Tabelle 3: Trockensubstanzgehalte von Blättern der Sorte Müller-Thurgau während verschiedener Stadien der Rebentwicklung, unterschiedlicher Insertionshöhe und in Abhängigkeit differierender Düngungsmaßnahmen im Jahr 1987

Table 3: Dry matter content in leaves of the variety Müller-Thurgau during different phenological stades, differing insertion height and dependant on fertilization practice in 1987

Tabl. 3: Contenu de matière sèche dans les feuilles de la varieté Müller-Thurgau pendant différentes stades phénologiques, insertions différentes et dépendant de la pratique de fertilisation en 1987

Behandlung Hüttenkalk (dt/ha)	Insertionshöhe	Abgehende Blüte	Erbsengröße	Veraison	Lesereife
Kontrolle	unten	27.5	28.3	31.4	22.5
	mitte	26.4	28.6	31.3	24.4
	oben	24.3	28.0	29.1	23.0
Mittelwert		26.4	28.3	30.8	23.4
25 dt/ha	unten	27.7	27.2	30.2	23.9
	mitte	26.3	27.8	31.0	24.0
	oben	25.4	28.2	30.8	23.9
Mittelwert		26.6	27.7	30.7	23.9
50 dt/ha	unten	27.8	28.0	29.7	24.0
	mitte	27.4	27.8	31.1	24.0
	oben	24.2	27.9	31.6	24.2
Mittelwert		25.5	27.9	30.8	24.1

Tabelle 4: Trockensubstanzgehalte von Blättern der Sorte Müller-Thurgau während verschiedener Stadien der Rebentwicklung, unterschiedlicher Insertionshöhe und in Abhängigkeit differierender Düngungsmaßnahmen im Jahr 1988

Table 4: Dry matter content in leaves of the variety Müller-Thurgau during different phenological stades, differing insertion height and dependant on fertilization practice in 1988

Tabl. 4: Contenu de matière sèche dans les feuilles de la varieté Müller-Thurgau pendant différentes stades phénologiques, insertions différentes et dépendant de la pratique de fertilisation en 1988

Behandlung Hüttenkalk (dt/ha)	Insertionshöhe	Abgehende Blüte	Erbsengröße	Veraison	Lesereife
Kontrolle	unten	26.5	28.8	30.1	30.3
	mitte	25.0	28.4	30.1	34.5
	oben	20.5	26.7	29.4	38.7
Mittelwert		24.9	28.1	29.9	34.7
25 dt/ha	unten	27.0	28.2	30.6	39.9
	mitte	26.0	28.0	29.6	35.9
	oben	20.5	26.2	27.8	34.0
Mittelwert		25.7	27.6	29.4	33.7
50 dt/ha	unten	26.8	29.5	30.3	30.4
	mitte	25.8	26.9	29.8	30.8
	oben	21.5	26.0	28.2	37.1
Mittelwert		25.6	27.3	29.4	31.8

chen mit denjenigen aus dem mittleren und basipetalen Bereich. In dem Zeitraum Stadium 25 bis 31 erfolgt jedoch eine kräftige Zunahme der Trockenmassebildung; sie bleibt aber immer noch hinter der der basalen Blätter zurück. In der Abreifephase werden in den akropetalen Blättern durchschnittlich 36,6 % Trockensubstanz bestimmt. Im mittleren Bereich werden 33.7 % und im unteren 30.2 % nachgewiesen.

3.2.2 Siliziumgehalte

Die Si-Gehalte in den Blättern der Sorte Müller-Thurgau sind in der Abbildung 4 für die Entwicklungsstadien „abgehende Blüte", „Erbsengröße", Weichwerden" und „Lesereife" für die drei Insertionshöhen „unten", „mitte" und „oben" und die Düngungsstufen Kontrolle, 25 dt/ha und 50 dt/ha Hüttenkalk dargestellt. Die durchschnittlichen Si-Gehalte über alle drei Insertionshöhen betragen in den drei Behandlungen 2.1, 2.1 und 2.3 mg Si/g Tr.S. zur abgehenden Blüte. Ersichtlich wird allerdings aus der Darstellung 4, daß in den gedüngten Teilstücken in den älteren Blättern die Si-Gehalte höher sind als in der Kontrolle.

In der Phase der Erbsengröße liegen die Durchschnittsgehalte bei 1.2, 1.4 und 1.6 mg Si/g Tr. S. in der Kontrolle, 25 dt/ha und 50 dt/ha Hüttenkalk.

Zur Phase des Weichwerden ist keine weitere Anreicherung festzustellen. Die Werte weisen nahezu die gleichen Konzentrationen auf wie zum Stadium „Erbsengröße".

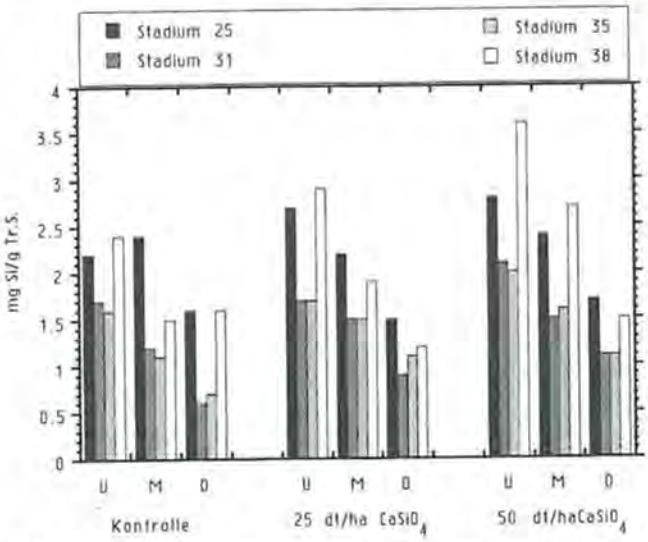

Abb. 4: Verlauf der Si-Einlagerung in Blätter der Rebsorte Müller-Thurgau in Abhängigkeit von der Si-Düngung im Jahr 1987

Fig. 4: Time course of Si-deposition in leaves of the variety Müller-Thurgau dependant on Si-fertilization in 1987 (Stadium 25 = past blossoming; Stadium 31 = grapes hanging; Stadium 35 = bunches closed, veraison; Stadium 38 = maturity)

Fig. 4: Deposition de Si dans les feuilles de la varieté Müller-Thurgau au cours du cycle végétatif et dependant de la fertilisation en 1987 (Stadium 25 = fin floraison; Stadium 31 = grain de pois; Stadium 35 = veraison; 38 = maturité)

Zum Entwicklungsstadium „Lesereife" hin findet nochmals in allen Prüfgliedern eine kräftige Si-Anreicherung statt. Über die gesamte Laubwand berechnet ergeben sich im Durchschnitt 1.8, 2.0 und 2.6 mg Si/g Tr. S. in der Kontrolle, 25 dt/ha und 50 dt/ha Hüttenkalk. Auffallend ist auch, daß der Müller-Thurgau einen ausgeprägten Si-Gradienten in der Laubwand zeigt; die Si-Gehalte in den unteren Blättern sind in der Regel gegenüber den Blättern aus der Insertionshöhe „mitte" um ø 40–70 % höher.

1987 kann man auch eine ausgeprägte Reaktion auf die Hüttenkalkzufuhr feststellen. Spätestens ab dem Stadium „Erbsengröße" sind in den mit Hüttenkalk behandelten Parzellen die Si-Gehalte in den Blättern aller Insertionshöhen größer als in der Kontrolle. Die absolut höchsten Gehalte weist die Parzelle mit 50 dt/ha Hüttenkalk in den unteren und mittleren Blättern zum Zeitpunkt der Lesereife mit 3.6 bzw. 2.7 mg Si/g Tr. S. auf.

Die Entwicklung der Si-Gehalte in den Blättern des Jahrganges 1988 ist in der Abbildung 5 dargestellt.

Die durchschnittlichen Si-Gehalte steigen während der Vegetationszeit kontinuierlich an. Bei der Betrachtung der Einzelwerte wird deutlich, daß sich besonders in den mit Hüttenkalk gedüngten Parzellen ein ausgeprägter Gradient im Verlaufe der Vegetationszeit entwickelt. Insbesondere zur Lesereife hin steigen die Werte in den einzelnen Insertionshöhen der Blätter an. Die höchsten Gehalte können in der Parzelle 50 dt/ha Hüttenkalk ermittelt werden. Sie liegen bei 3.5 mg Si/g Tr. S. in den unteren Blättern.

In der Parzelle 25 dt/ha Hüttenkalk erkennt man einerseits deutlich die Si-Anreicherung in den jeweiligen Blattzonen und andererseits die Abnahme mit steigender Insertionshöhe.

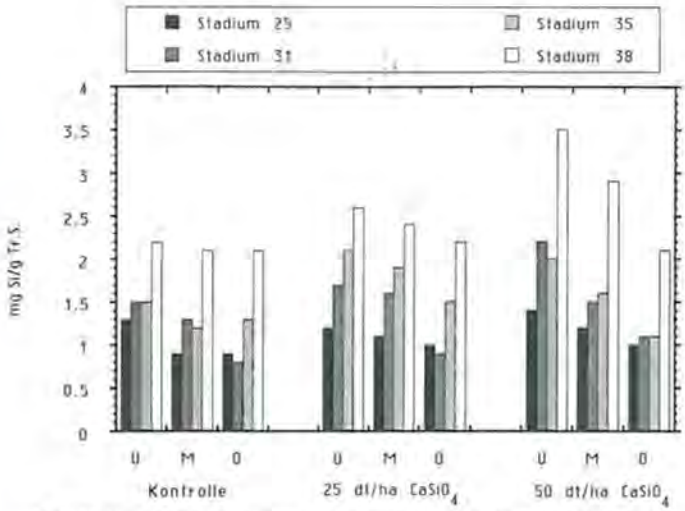

Abb. 5: Verlauf der Si-Einlagerung in Blätter der Rebsorte Müller-Thurgau in Abhängigkeit von der Si-Düngung im Jahr 1988
Fig. 5: Time course of Si-deposition in leaves of the variety Müller-Thurgau dependant on Si-fertilization in 1988 (Stadium 25 = past blossoming; Stadium 31 = grapes hanging; Stadium 35 = bunches closed, veraison; Stadium 38 = maturity)
Fig. 5: Deposition de Si dans les feuilles de la varieté Müller-Thurgau au cours du cycle végétatif et dependant de la fertilisation en 1988 (Stadium 25 = fin floraison; Stadium 31 = grain de pois; Stadium 35 = veraison; 38 = maturité)

4. Diskussion

In den durchgeführten Untersuchungen zur Si-Anreicherung in Blättern von Silvaner und Müller-Thurgau unter dem Einfluß einer Hüttenkalkdüngung konnte nachgewiesen werden, daß auch Reben ein entsprechendes Aufnahme- und Anreicherungsvermögen für Silizium besitzen.
In der Vegetationsperiode 1987 findet man sowohl bei der Sorte Silvaner als auch bei Müller-Thurgau eine Abreicherung im Beobachtungszeitraum von „abgehender Blüte" bis zur „Lesereife". Besonders stark ausgeprägt ist dieser Vorgang bei Müller-Thurgau, denn bereits nach dem Stadium 31 gehen die Si-Gehalte in den Blättern zurück. Bei Silvaner hingegen nehmen sie bis zur „Erbsengröße" zu und gehen erst danach kräftig zurück. Auffallend ist, daß die Phasen starker Si-Abnahme in den Blättern mit einer kräftigen Zunahme der Trockensubstanzgehalte der Blätter gekoppelt sind.
Im Jahr 1988 hingegen kann eine kontinuierliche Si-Anreicherung in den Blättern beobachtet werden und dies trotz steigender Trokkensubstanzgehalte in den Blättern während des Vegetationsablaufes.
Die Zufuhr eines silikatischen Kalkes führt in der Mehrzahl der Untersuchungen zu einer erhöhten Si-Konzentration in den Blättern beider Sorten. Trotz eindeutiger Zunahmen ließen sich jedoch die Unterschiede nicht statistisch absichern. Hintergrund dieser starken Schwankungen waren die großen Streuungen, die bei der Si-Bestimmung auftraten. Die Aufschlußbedingungen waren durch Schwankungen an Heizgeräten nur schlecht zu optimieren. Die Bestimmung in der Fließinjektionsanalyse weist eine sehr große Präzision auf.
Verglichen mit den Ergebnissen anderer Autoren, die Si-Düngungsversuche unternommen haben, ist die Reaktion bzw. die Anreicherung von Si in den Blättern nicht so wie erwartet. Ein wesentlicher Grund mag darin liegen, daß die Umsetzung des Hüttenkalkes am Standort nur zögernd ablief umd demzufolge nur eine geringe Steigerung der löslichen Kieselsäure in der Bodenlösung stattfand. BERTHOLD fand bei seinen Untersuchungen eine Zunahme des SiO_2-Gehaltes der Bodenlösung um 1 mg je Düngungsstufe.
LEUSCH (1986) weist in seinen Untersuchungen ebenfalls darauf hin, daß Feldversuche mit Hüttenkalk nicht immer eine Erhöhung der Kieselsäure zeitigen, da durch die pH-Anhebung natürlich auch die Löslichkeit negativ beeinflußt wird.
Vermutlich wurde auch im Jahr 1987 zusätzlich durch die starken Niederschläge, verbunden mit niedrigen Temperaturen, mehr ausgewaschen, als aus dem Bodenvorrat nachgeliefert werden konnte.
Andererseits kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß aufgrund der Witterungsbedingungen im Jahr 1987 der Verdunstungsanspruch der Rebe relativ gering war und demzufolge im Transpirationsstrom nur wenig Si zu den Anreicherungsstellen transportiert wurde. Dies läßt sich auch über die Trockensubstanzzunahme in den Blättern mit einsetzenden Beerenwachstum und der gleichzeitigen starken Abnahme der Si-Gehalte belegen.
Im Rahmen der vorliegenden Versuchsanstellung wurden keine Bonituren zum Krankheitsbefall der beiden Sorten speziell mit Oidium vorgenommen, so daß die Frage, inwieweit Silizium die Widerstandskraft der Rebe gegen pilzliche Infektionskrankheiten erhöhen kann, nicht beantwortet werden kann. Auf diesen Komplex soll in der 2. Mitteilung eingegangen werden.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen eines Düngungsversuches mit Hüttenkalk in der Aufwandmenge von 25 und 50 dt/ha wurde bei den beiden Rebsorten Müller-Thurgau und Silvaner untersucht, ob durch diese Maßnahme auch die Si-Gehalte in den Blättern erhöht werden.
Zu diesem Zweck wurden während der Entwicklungsstadien „abgehende Blüte" (Stadium 25), „Erbsengröße" (Stadium 31), „Weichwerden" (Stadium 35) und „Lesereife" (Stadium 38) Blätter aus den Bereichen „unten" „mitte" und „oben" der Laubwand entnommen und auf Gesamt-Si untersucht.
Die Untersuchungen erfolgten während der Vegetationsperioden 1987 und 1988.
Im niederschlagsreichen Jahr 1987 nahmen die Si-Gehalte in den Blättern im Verlaufe der Vegetationsperiode ab, 1988 hingegen kam es zu einer kontinuierlichen Zunahme während des Beobachtungszeitraumes.
Es konnte ein ausgeprägter Si-Gradient in der Laubwand festgestellt werden, wobei von den älteren zu den jüngeren Blättern die Si-Gehalte abnahmen.
Die Hüttenkalkdüngung führt zu einer gesteigerten Si-Anreicherung in den Blättern. Es besteht allerdings auch ein zusätzlicher Jahreseinfluß.

Summary

In a fertilizer trial the grapevine varieties „Müller-Thurgau" and „Silvaner" were fertilized with 25 and 50 q/ha of Calciumsilicate („Hüttenkalk"). As a consequence of this trial leaves from different parts of the grapevine („older leaves", „medium" and „recently unfolded") were tested during development (Stadium 25 = past blossoming; Stadium 31 = grapes hanging; Stadium 35 = bunches closed, veraison; Stadium 38 = maturity) for their silicon content.
The research was done during the two vegetation periods 1987 and 1988.
In 1987, a year with a high precipitation rate, the silicon content in leaves decreased continuously; in contrary 1988 the Si-content increased from „past blossoming" until „maturity".
There is significant silicon gradient decreasing from the older leaves up to the younger ones.
Fertilizing the vineyard with calcium silicate induced a Si-accumulation in all tested leaves in the different parts of the canopy. Additionally one can observe a significant influence of the year.

Résumé

Dans le cadre d'un essai d'amendement avec du Silicate de Calcium, à doses de 25 et 50 Q/ha, sur les cépages Müller-Thurgau et Sylvaner, on s'est intéressé à l'augmentation du Silicium dans les feuilles qui pouvait en résulter. Les prises d'échantillons eurent lieu en bas, au milieu, et en haut du feuillage lors des stades: 25 (fin de fleur), 31 (baies de le taille d'un petit-pois) et 38 (vendanges). Les Essais eurent lieu en 1987 et 1988.

Pendant l'année pluvieuse de 1987 le taux de Silicium diminua dans les feuilles au cours de la végétation. Par contre en 1988, il y eut une augmentation permanente et l'on put déterminer un gradient croissant de concentration en Silicium des feuilles jeunesvers les feuilles plus agées. L'amendement avec du Silicate de Calcium conduit à un enrichissement en Silicium dans les feuilles. On note cependant l'influence de l'année.

6. Literatur

Alexander, G. B., Heston, W. M., Iler, R. K. (1959): The solubility of amorphous silica in water. Journal Phys. Chem. *58*, 453–455.

Becker, H. (1986): Einige Ergebnisse der Züchtung interspezifischer Rebsorten in Geisenheim. Deutsches Weinbau Jahrbuch *37*, 79–80.

Bennett, D. M. (1982): An ultrastructural study on the development of silicified tissues in the leaf tip of barley. Annals of Botany *50*, 229–237.

Bennet, D. M. (1982): Silicon deposition in the roots of Hordeum sativum Jess. Avea sativa L. and Triticum aestium L. Annals of Botany *50*, 239–245.

Berthold, G. (1985): Einfluß unterschiedlicher Hüttenkalkdüngungen auf bodenphysikalische und bodenchemische Parameter. Diplomarbeit (Aufbaustudiengang Oenologie), Geisenheim.

Bowen, J. E. (1972): Manganese – Silicon interaction and its effect on groth of Sudan grass. Plant and Soil *37*, 577–588.

Carver, T. L., Zeyen, R. J., Ahlstrand, G. G. (1987): The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery milden germlings on barley. Phys. and Molecular Plant Path. *31*, 133–148.

Edwards, H. H., Allen, P. J. (1970): A fine – structure study of primary infection process during infection of barley by Erysiphe graminis f. sp. hordei. Phytopath. *60*, 1504–1509.

Engel, W. (1953): Untersuchungen über die Kieselsäureverbindungen im Roggenhalm. Planta *41*, 358–390.

Fidanovsky, F. (1981): Silizium, ein für die Pflanze „nützliches" Element. Z. Pflanzenern. Bodenkunde *120*, 191–207.

Francesco S. Interesse u. a. (1984): Mineral contents of some southern Italien wines. Z. Lebensm. Unters. Forsch. *178*, 272–278.

Frey-Wissling (1935): Die Stoffausscheidung der höheren Pflanze. J. Springer-Verlag, Berlin.

Ganssmann, W. (1962): Untersuchungen über den Einfluß der Kieselsäure auf die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen. Phosphorsäure *22*, 223–241.

Germar, B. (1934): Über einige Wirkungen der Kieselsäure in Getreidepflanzen auf deren Resistenz gegenüber Mehltau. Z. Pflanzenern., Düng. und Bodenkunde *35*, 102–115.

Grosse-Brauckmann, E. (1956): Die Kieselsäureaufnahme von Getreide unter dem Einfluß von Stickstoff, Kalk und Phosphorsäure. Landw. Forschung *9*, 196–203.

Grosse-Brauckmann, E. (1979): Zur Mehltaubekämpfung in Gefäßversuchen mittels Kieselsäuredüngung und Fungizidanwendung. Landw. Forschung *32*, 150–156.

Heath, M. C. (1981): Insoluble silicon in necrotic cowpea following infection with an incompatible isolate of cowpea rust fungus. Physiol. Plant Path. *19*, 273–276.

Holzapfel, L. (1951): Siliziumverbindungen in biologischen Systemen. Z. Elektrochemie und angew. phys. Chemie *55*, 577–580.

Hutton, J. T., Norrish, K. (1974): Silicon content of wheat husks in relation to water transpired. Austr. J. Agric. Res. *25*, 203–212.

Jones, L. H. P., Handreck, K. H. (1965): Studies of silica in oat plant. III. Uptake of silica from soils by the plant. Plant and Soil *23*, 79–96.

Jones, L. H. P., Handreck, K. H. (1967): Silica in soils, plants and animals. Advances in Agronomy *19*, 107–104.

Kowalski, R., Davies, G. F. (1982): Silica content of Triticum aestivuum L. in relationship to humic acid concentrations in the soil. Plant and Soil *68*, 139–142.

Kunoh, N., Ishizki, H. (1975): Silicon levels near penetration sites of funghi on wheat, barly, cumber and morning glory leaves. Physiol. Plant. Path.*5*, 283–287.

Lanning, F. C. (1977): Ash, Silicon, Calcium and Copper in „Concord" Grape Leaves. Hort. Science *12*, 121–122.

Leusch, H. J. (1986): Untersuchungen zum Einfluß von Bodenbehandlungen mit Hüttenkalk und Natriumsilikat sowie von Spritzbehandlungen mit siliziumreichen Verbindungen auf den Befall von Weizen und Gerste mit pilzlichen Krankheitserregern. Dissertation Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.

Miyake, Y., Takashi, E. (1978): Silicon deficiency of tomato plant. Soil Science and Plant Nutr. *24*, 175–189.

Munk, H. (1981): Zur Bedeutung silikatischer Stoffe bei der Düngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Landw. Forschung *38*, 264–277.

Ohm, D. (1951): Düngungsversuche mit Hüttenkalk. Rheingauer Weinzeitung *37*, 235.

Parry, D. W., Kelso, M. (1975): The distribution of silicon deposits in the roots of Molinia caerulea L. Moench and Sorghum bicolor (L.) Moench. Annals of Botany *39*, 995–1001.

Parry, D. W., Hodson, M. J., Sangster, A. G. (1984): Some recent advances in Studies of silicon in higher plants. Phil. trans Royal Society of London B. *304*, 537–549.

Rasp, H. (1981): Der Einfluß von Natriumhydrosilikatkolloid auf das Gesamtporenvolumen, Luftdurchlässigkeit sowie auf den Ertrag und den Nährstoffgehalt von Lolium perenne im Modellversuch. Landw. Forsch. S. H. 38, Kongreßband, 278–288.

Raven, J. A. (1983): The transport and function of silicon in plants. Biological Review *58*, 179–207.

Schachtschabel, P., Heinemann, C. G. (1967): Wasserlösliche Kieselsäure in Lößböden. Z. Pflenzenern. und Bodenkunde *118*, 22–35.

Scheffer, B., Scheffer, K. (1984): Der Einfluß von Kalk und Kieselsäure auf die Phosphatmobilität (CAL) in Böden. Landw. Forschung *37*, 1–9.

Scheffer, F., Kroll, W. (1960): Untersuchungen über den oxidativen Abbau einer synthetischen Huminsäure in Gegenwart von amorpher Kieselsäure und Quarz. Kolloid-Ztg. *172*, 55.

Scheffer, F., Schachtschabel, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart.

Scheffer, K., Meyer, B. (1972): Strukturwirkungen meliorativer Kalkungen in Ap-Horizonte von Löß-Parabraunerden. Landw. Forschung, Sonderheft *28/1*, 324–339.

Schröter, W. u. a. (1984): Taschenbuch der Chemie. H. Deutsch-Verlag, Thun und Frankfurt/M.

Seidel, D., Wetzel, T., Schumann, K. (1982): Grundlagen der Phytopathologie und des Pflanzenschutzes. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Tan, K. H. (1980): The release of silicon, aluminium and potassium during decomposition of soil minerals by humic acid. Soil Science *129*, 5–11.

Van der Vorm, P. D. J. (1980): Uptake of Si by fine plant spezies, as influenced by variations in Si-supply. Plant and Soil *56*, 153–156.

Wadham, M. D., Parry, D. W. (1981): The silicon content of Oryza Sativa L. and its effect on the grazing behavior of Agrolimax reticulatus Müller. Annals of Botany *48*, 399–402.

Wagner, F. (1940): Die Bedeutung der Kieselsäure für das Wachstum einiger Kulturpflanzen, ihren Nährstoffhaushalt und ihre Anfälligkeit gegen echte Mehltaupilze, Phytopath. Ztg. *12*, 427–479.

Wong You Cheong, Y. Chan, P. Y. (1973): Incorporation of P32 in phosphate esters of sugar cane plant and the effect of Si and Al on the distribution of these esters. Plant and Soil *38*, 113–123.

Yoshida u. a. (1963): Chemical forms and deposition of silicon in rice plant. Soil Sc. Plant. Nutr. (Tokio) *8*, 15–21, 1962. Referat in Landw. Zentralblatt 1527.

Zeyen, R. J., Carver, T. L., Ahlstrand, G. G. (1983): Relating cytoplasmatic detail of powdery mildew infection to presence of insoluble silicon by sequential use of light microscopy, SEM, and x-ray analysis. Phys. Plant Pathol. *22*, 101–108.

View publication stats