

# **Chemische Zusammensetzung sowie Elementfreisetzung brasilianischer Gesteinsmehlproben verschiedener geologischer Provenienz aus dem Paranaflußgebiet**

## **Brasilian silicate rock dusts of different geological origin from the area of the river Parana – Chemical composition and nutrient release**

von Peter von Fragstein<sup>1</sup>, Salzano J. B. de Oliveira<sup>2</sup>, Hartmut Vogtmann<sup>1</sup>

### **1 Einleitung**

Die Anwendung von silikatischen Gesteinsmehlen wird in Anbausystemen des ökologischen Landbaus aus Gründen der Bodenverbesserung sowie der langfristigen Nährstoffversorgung der Böden und Pflanzen empfohlen (AUBERT, 1977; FRAGSTEIN, 1982). Da sich diese Mehle wegen ihrer hohen Verwitterungsstabilität wie Slowrelease-Dünger verhalten, werden sie als wertvolle mineralische Ergänzungen angesehen, die erst unter dem Einfluß verwitternder Agentien wie organischer Säuren (RAZZAGHE und ROBERT, 1979) die in den primären Mineralen gebundenen Nährstoffe in die Bodenlösung abgeben und damit in idealer Weise dem spezifischen Konzept des ökologischen Landbaus bezüglich der (indirekten) Ernährung von Pflanzen entsprechen. In diesem Verwitterungsgeschehen spielt der mineralogische Aufbau von Gesteinsmehlen eine wesentliche Rolle (GOLDICH, 1938). Zusätzlich entscheidet die Korngrößenverteilung über die Verwitterungsstabilität solcher Mehle. Mit abnehmender Partikelgröße erhöht sich die Besiedlungs- und Angriffsfläche für Mikroorganismen um ein Vielfaches (MÜLLER und FÖRSTER, 1963; STAHLBERG, 1960).

<sup>1</sup> Dr. Peter von Fragstein, Prof. Dr. Hartmut Vogtmann, Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft, Fachgebiet „Methoden des alternativen Landbaus“ Nordbahnhofstr. 1a, D-3430 Witzenhausen 1

<sup>2</sup> Salzano I. B. de Oliveira, Dipl. Ing. agr., Rua Otavia Corrêa, 62, 90040 Porto Alegre, Rio Grande do Sul – Brasilien

## 2 Material und Methoden

Die untersuchten Gesteinsproben wurden unter der Leitung von Herrn Ari Roisemberg (Universidade Federal Rio Grande do Sul) an sechs verschiedenen Orten in Rio Grande do Sul, Brasilien, gesammelt. Es wurde bewußt auf die Verschiedenartigkeit der Proben geachtet, da eine etwaige Anwendung in der brasilianischen Landwirtschaft als Mittel der Bodenverbesserung sowie langfristigen Nährstoffversorgung im Vordergrund der Untersuchungen stand. Art und Herkunft derselben sind der Tab. 1 zu entnehmen. Drei Proben gehören zu basischem (toleitischer Basalt), eine zu intermediärem (Andesit) und zwei zu saurem Gestein (Riodacit).

Tab. 1: Herkünfte der einzelnen Probestücke

Probe		Ort
SS	(Basalt)	Sao Sebastiao do Cai (Aufschluß)
P	(Basalt)	Panambi (städtischer Steinbruch)
EV	(Basalt)	Estancia Velha („Brito Norte“ Steinbruch)
O	(Andesit)	Osorio (Aufschluß)
PF	(Riodacit)	Passo Fundo (städtischer Steinbruch)
SM	(Riodacit)	Santa Maria (städtischer Steinbruch)

Alle Untersuchungen wurden an Proben mit einer Fraktion  $<63\mu$  vorgenommen. Die pH-Analyse erfolgte nach einer 2h-Extraktion in Wasser (1:2,5 – Gew./Vol.) – reziprokes Schütteln bei 150 U/min. Die Details für die Elementbestimmungen nach Extraktionen in drei verschiedenen Lösungen sind in Tab. 2 aufgeführt. Die Gehalte der Elemente Ca, Mg, Fe, Mn, Cu und Zn wurden mittels Atomabsorptionsspektroskopie (Gerät: Perkin Elmer AAS 2358) ermittelt, für die Bestimmung der Elemente K und Na wurde die Flammenspektroskopie angewendet (Gerät: Laboratory Instruments). Die vorgestellten Ergebnisse wurden jeweils als Mittelwert aus vier Wiederholungen errechnet. Die Analysen zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Gesteinsproben erfolgten an der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Hameln (Schwermetalle) sowie am Geologischen Institut der Universität Erlangen.

Tab. 2: Extraktionsverfahren zur Bestimmung der Elementfreisetzung in unterschiedlichen Verfügbarkeitsstufen

Medium	Konzentration	Einwaage (g/100 ml)	Verfahren
Wasser	-----	10	2 h Schütteln (150 U/min)
Citronensäure	0.1m	1	2 h Schütteln (150 U/min)
Salzsäure	1n	0.5	10 min Kochen

## 3 Ergebnisse

Die in Tab. 3 wiedergegebenen Daten über die chemische Zusammensetzung der sechs Gesteinsproben lassen den großen Unterschied zwischen dem Si-reichen und Si-

-armen Gestein erkennen. Am auffälligsten wird dies in den Zahlen für die Erdalkalien CaO und MgO, die in der PV-Probe 3,08% und 1,49%, in der SS-Probe dagegen 8,11% und 5,97% erreichen. Die Alkalien K<sub>2</sub>O und Na<sub>2</sub>O liegen mit jeweils 3,45% in dem sauren Gestein (SM-Probe) am höchsten. Die in dieser Tabelle zusätzlich aufgeführten Durchschnittswerte für Basalte und Granite ermöglichen eine leichte Zuordnung zu diesen beiden Gesteinsgruppen (WEDEPOHL, 1967).

Tab. 3: Gegenüberstellung der mittleren chemischen Zusammensetzung von Basalt und Granit (nach WEDEPOHL, 1967) und den Analysedaten von 6 Gesteinsmehlproben aus dem Paranaflußgebiet (RS/Brasilien)

Element (%)	Probe SS	P	EV	O	PF	SM	Basalte	Granite
SiO <sub>2</sub>	52,80	51,80	52,00	59,70	69,40	71,80	49,50	72,97
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	14,80	9,20	14,00	15,60	13,50	14,70	14,95	13,80
TiO <sub>2</sub>	1,06	3,96	1,08	1,49	0,96	0,87	2,10	0,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	9,22	18,80	11,77	11,87	13,40	7,75	13,37	2,37
CaO	8,11	7,42	7,30	7,53	3,08	0,84	9,60	1,03
MgO	5,97	4,04	3,95	3,15	1,49	0,20	6,80	0,39
K <sub>2</sub> O	1,90	1,42	1,35	2,12	3,33	3,45	1,15	5,30
Na <sub>2</sub> O	2,13	1,81	1,97	2,59	2,53	3,45	2,85	3,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,46	0,48	0,32	0,34	0,30	0,39	0,38	0,16
MnO	0,22	0,34	0,22	0,26	0,19	0,50	0,19	0,06

Die pH-Werte der sechs Proben (siehe Tab. 4) reichen von 9,30 (Basalt) bis 7,31 (Riodacit). Absteigend ergibt sich eine Rangfolge der Proben von SS > EV > O > P > PF > SM.

Tab. 4: pH-Gehalt der sechs brasilianischen Gesteinsmehle

Probe		pH
SS	(Basalt)	9,30
P	(Basalt)	8,87
EV	(Basalt)	9,20
O	(Andesit)	9,02
PF	(Riodacit)	8,41
SM	(Riodacit)	7,31

Die Ergebnisse der Extraktionen in Wasser, Citronensäure sowie Salzsäure sind der Tab. 5 sowie den Abb. 1–8 zu entnehmen. Die drei gewählten Extraktionslösungen weisen erwartungsgemäß erhebliche Unterschiede in der Nährstoff-Freisetzung auf. In Wasser werden insbesondere Na<sub>2</sub>O (172-206 mg/kg) und CaO (37-210 mg/kg) gelöst. Der verwitternde Einfluß der Citronensäure äußert sich uneinheitlich. Unter den Makroelementen werden vor allem CaO (1,4-8,6 g/kg) und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,5-8,6 g/kg) mobilisiert: die SS-Probe zeigt in Analogie zur Wasser-Extraktion eine ausgeprägte Na<sub>2</sub>O-Abgabe. Mit der Salzsäure-Extraktion wird gemäß Definition der Anteil des nicht austauschbaren Kaliums erfaßt (STAHLBERG, 1960). In allen sechs Proben liegt

dieser außerordentlich niedrig ( $< 2$  g/kg). Die CaO-Freisetzung dominiert in den Basalt-Proben (ausgenommen die P-Probe:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{CaO}$ ), während in Andesit und den Riodacyten der Anteil des gelösten  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  überwiegt. Hervorzuheben ist die MgO-Verfügbarkeit der Basalt-Proben (17,9-22,6 g/kg). Von den Alkalien wird  $\text{Na}_2\text{O}$  schneller freigesetzt als  $\text{K}_2\text{O}$ , dasgleiche gilt für Mn gegenüber Cu und Zn unter den Spurenelementen. Diese lassen sich in der Sequenz  $\text{Mn} \gg \text{Cu} > \text{Zn}$  ordnen.

Tab. 5: Elementfreisetzung aus brasilianischen Gesteinsmehlproben ( $< 63 \mu$ )

Element	Probe SS	P	EV	O	PF	SM
<b>A: Wasser-Extraktion</b>						
CaO <sup>1</sup>	36,6	210,2	114,4	40,6	130,4	40,4
MgO <sup>1</sup>	34,9	98,2	27,4	21,1	44,4	20,6
K <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	0,0	135,5	12,1	15,1	24,1	30,1
Na <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	185,4	205,6	171,9	192,1	171,9	171,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1</sup>	21,0	2,8	22,6	25,8	52,9	59,7
Mn <sup>1</sup>	0,2	0,2	0,3	0,4	1,1	3,1
<b>B: Citronensäure-Extraktion</b>						
CaO <sup>2</sup>	1,4	8,6	7,9	4,4	7,3	5,1
MgO <sup>2</sup>	1,1	2,8	5,1	1,2	1,7	0,8
K <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	0,2	0,3	0,0	0,3	0,5	0,4
Na <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	4,0	1,2	1,4	1,9	1,3	1,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2</sup>	2,0	2,4	6,1	8,6	5,8	1,5
Mn <sup>1</sup>	190,0	272,3	107,0	458,5	500,0	892,8
Cu <sup>1</sup>	36,3	97,5	52,3	33,5	32,3	21,8
Zn <sup>1</sup>	6,8	18,3	18,8	5,0	11,5	12,8
<b>C: Salzsäure-Extraktion</b>						
CaO <sup>2</sup>	39,4	14,7	29,7	14,2	9,7	6,3
MgO <sup>2</sup>	22,4	17,9	22,6	2,2	8,4	2,9
K <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	1,3	1,0	0,7	1,9	1,9	1,6
Na <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	6,1	4,0	6,7	5,8	3,0	2,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2</sup>	14,1	17,3	18,1	21,9	26,0	17,0
Mn <sup>1</sup>	409,0	432,0	203,5	642,0	795,5	1480,1
Cu <sup>1</sup>	94,0	223,5	80,5	106,0	131,5	53,0
Zn <sup>1</sup>	57,5	114,0	79,5	34,5	80,0	65,0

<sup>1</sup> (mg/kg) / <sup>2</sup> (g/kg)

In den Abb. 1–8 läßt sich der Anteil der herausgelösten Nährstoffe im Vergleich zum jeweiligen Gesamtgehalt ermessen. Entgegen der sonst üblichen Bezugsgrößen wurden hierbei agronomisch ausgerichtete Größenordnungen gewählt, um die Menge „verfügbarer“ sowie gebundener Nährstoffe bei Applikationen von 1 t/ha leichter abschätzen zu können. Hieraus wird die zügigere Verwitterbarkeit der basaltischen Herkünfte noch klarer ersichtlich, insbesondere für CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O und Cu. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Zn geht vor allem nach HCl-Extraktion bei den Riodacyt-Proben mit höheren Anteilen in Lösung.

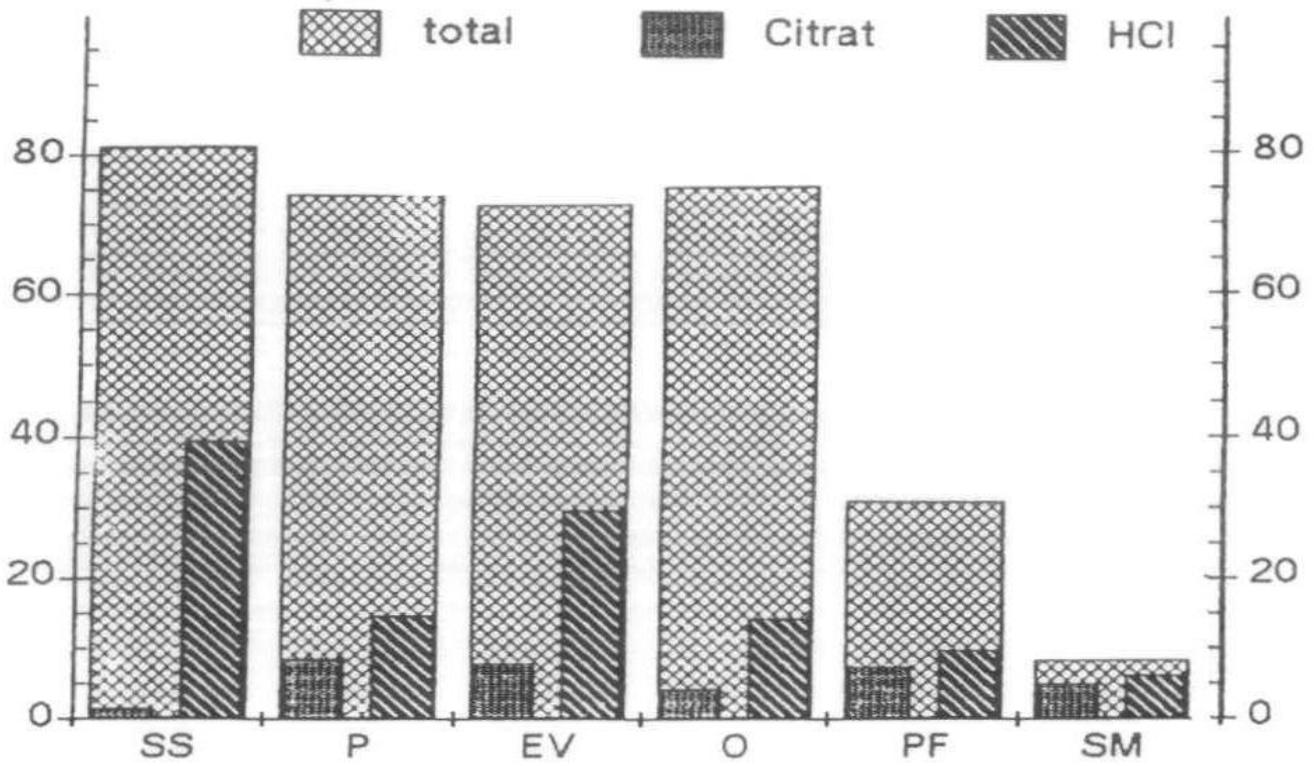


Abb. 1: CaO-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [kg/t]

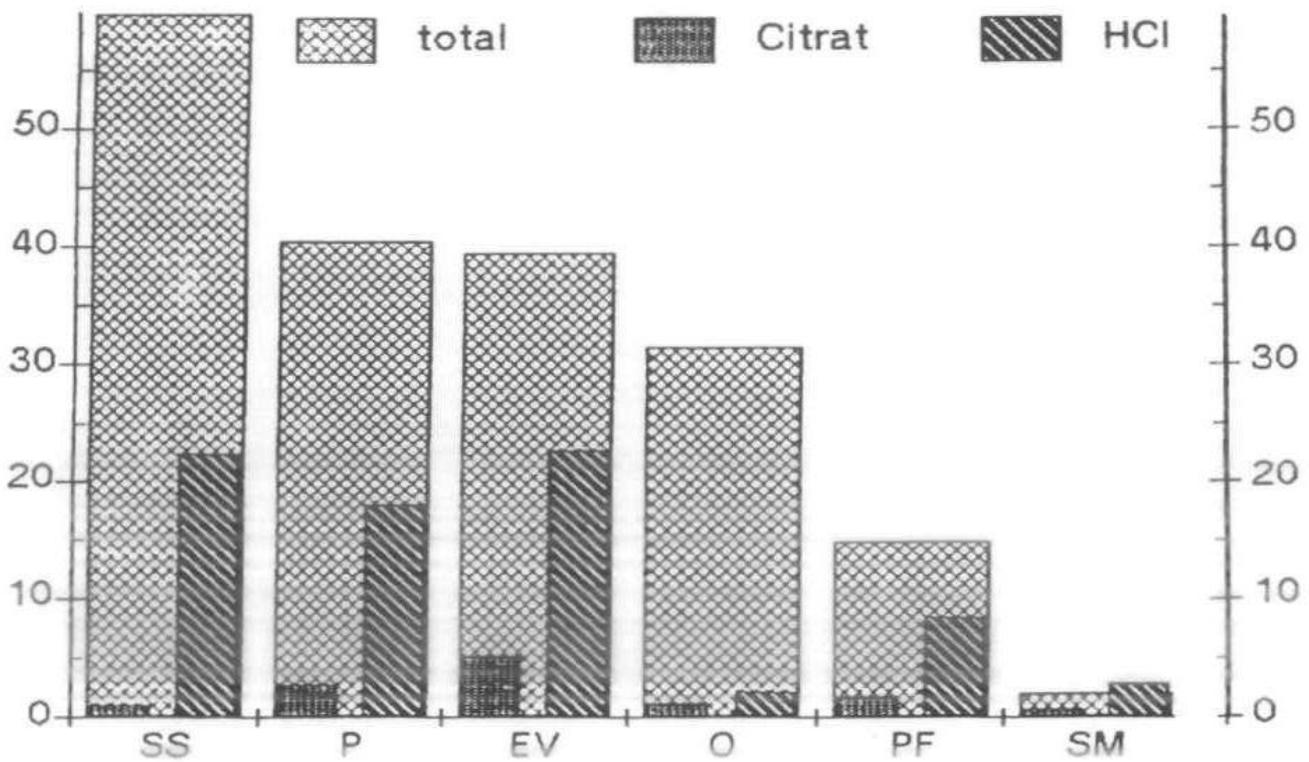


Abb. 2: MgO-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [kg/t]

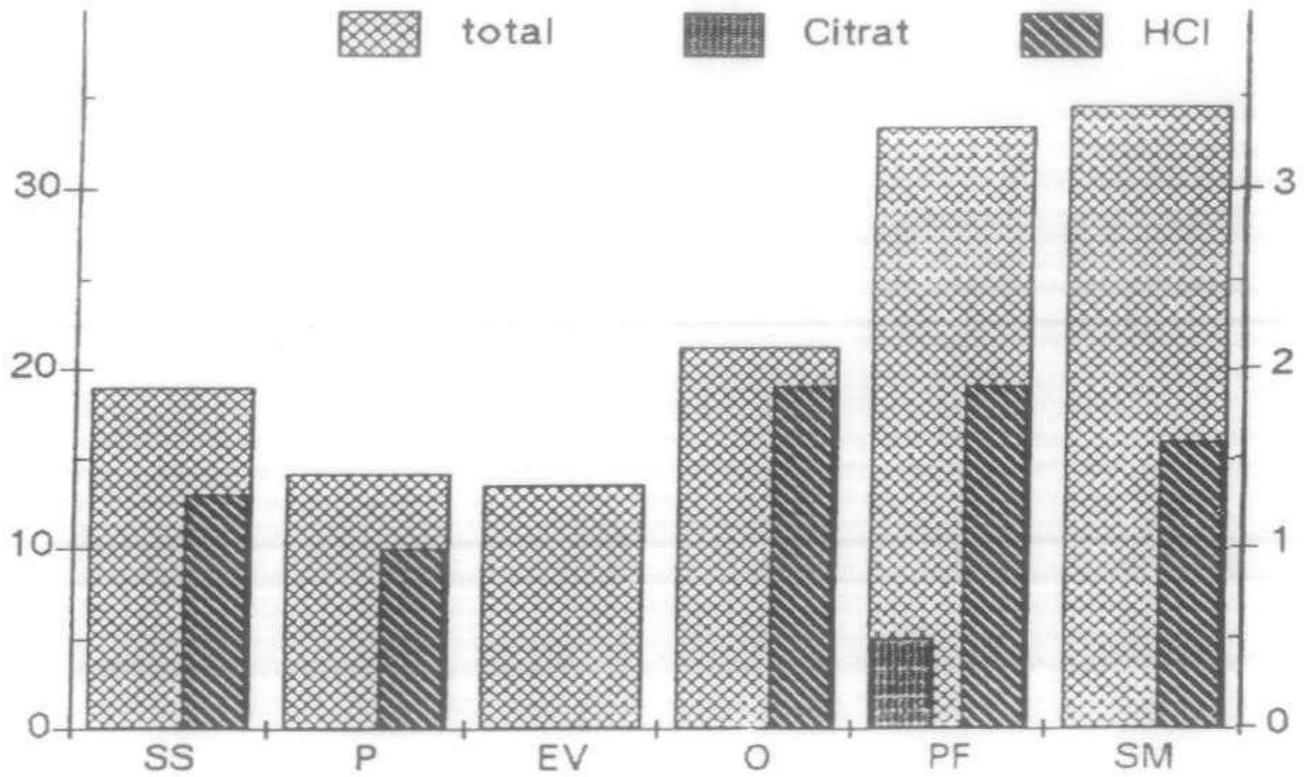


Abb. 3:  $K_2O$ -Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [kg/t]

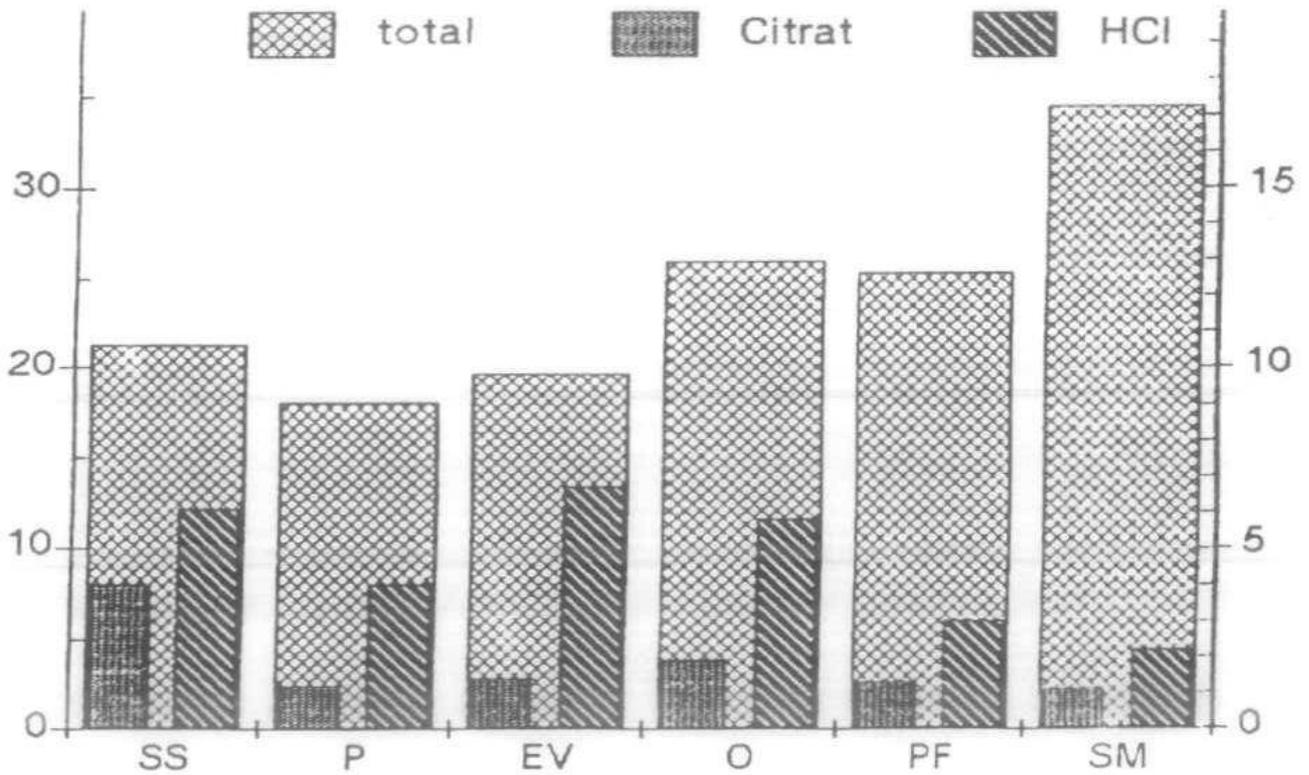


Abb. 4:  $Na_2O$ -Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [kg/t]

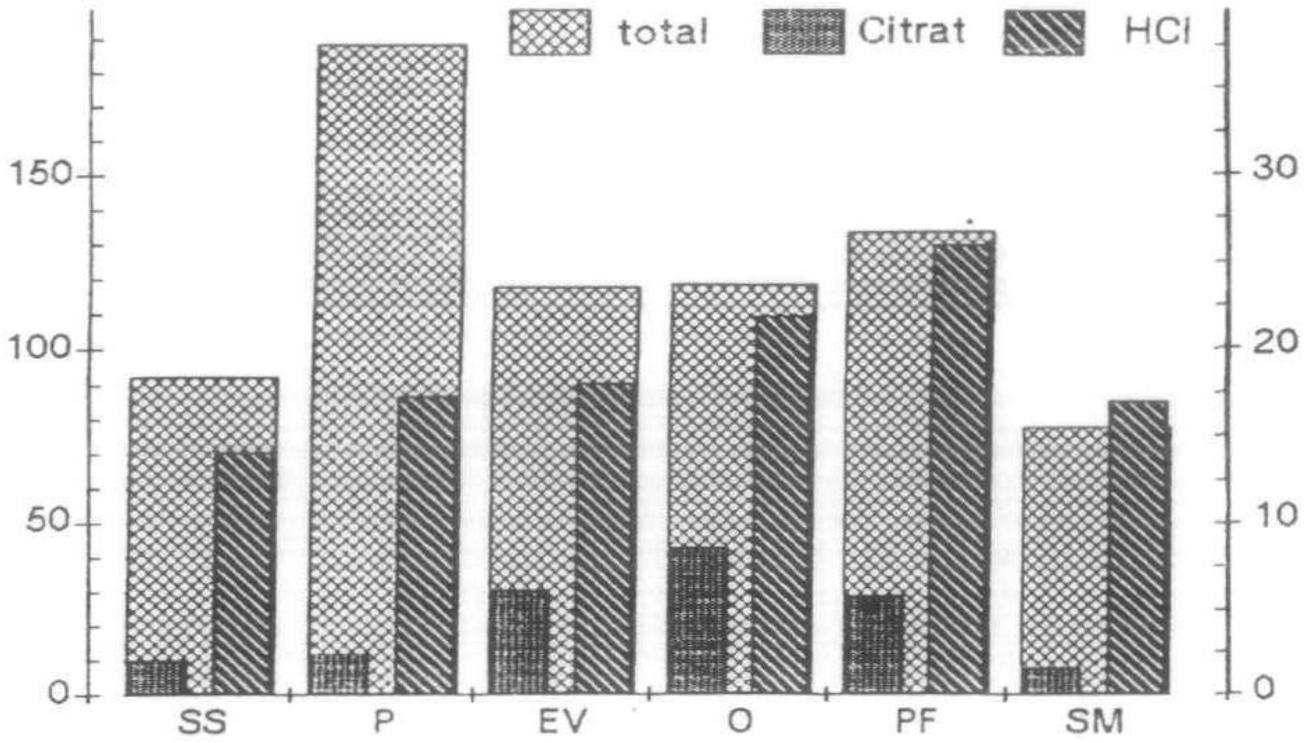


Abb. 5: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [kg/t]

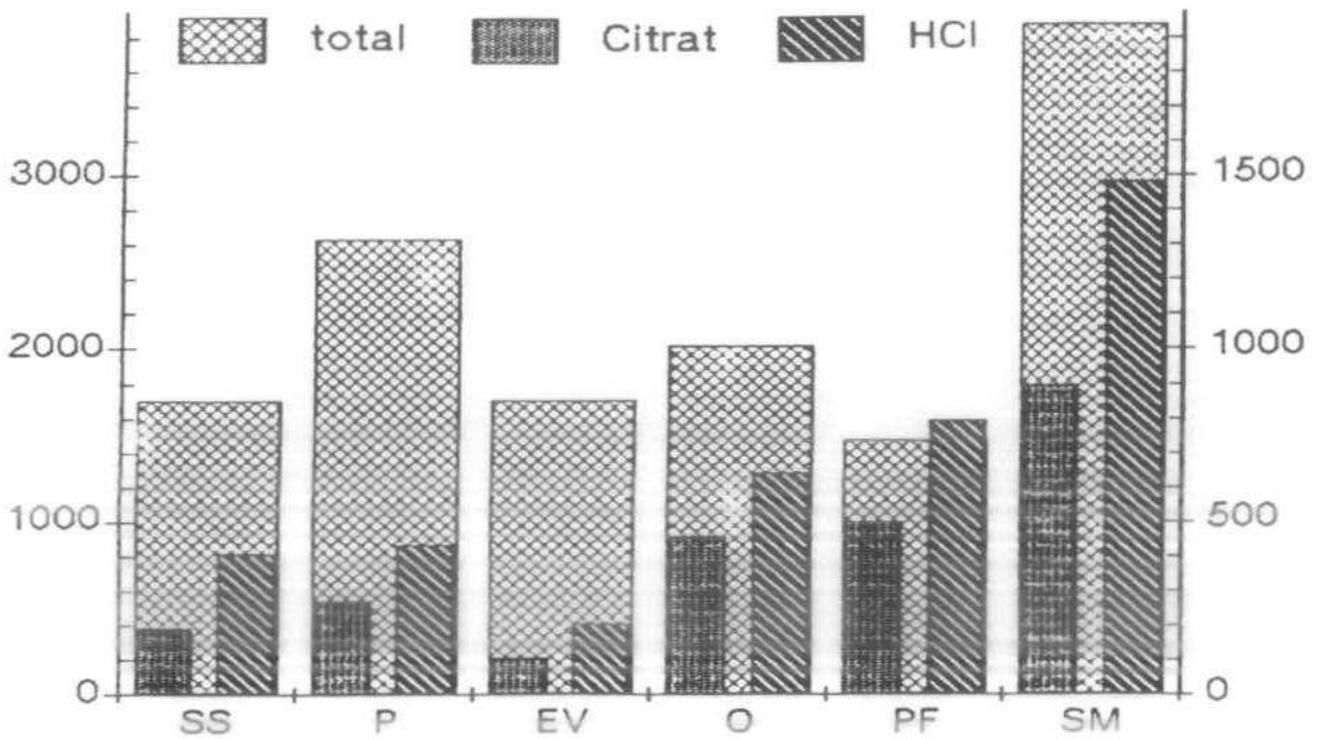


Abb. 6: Mn-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [g/t]

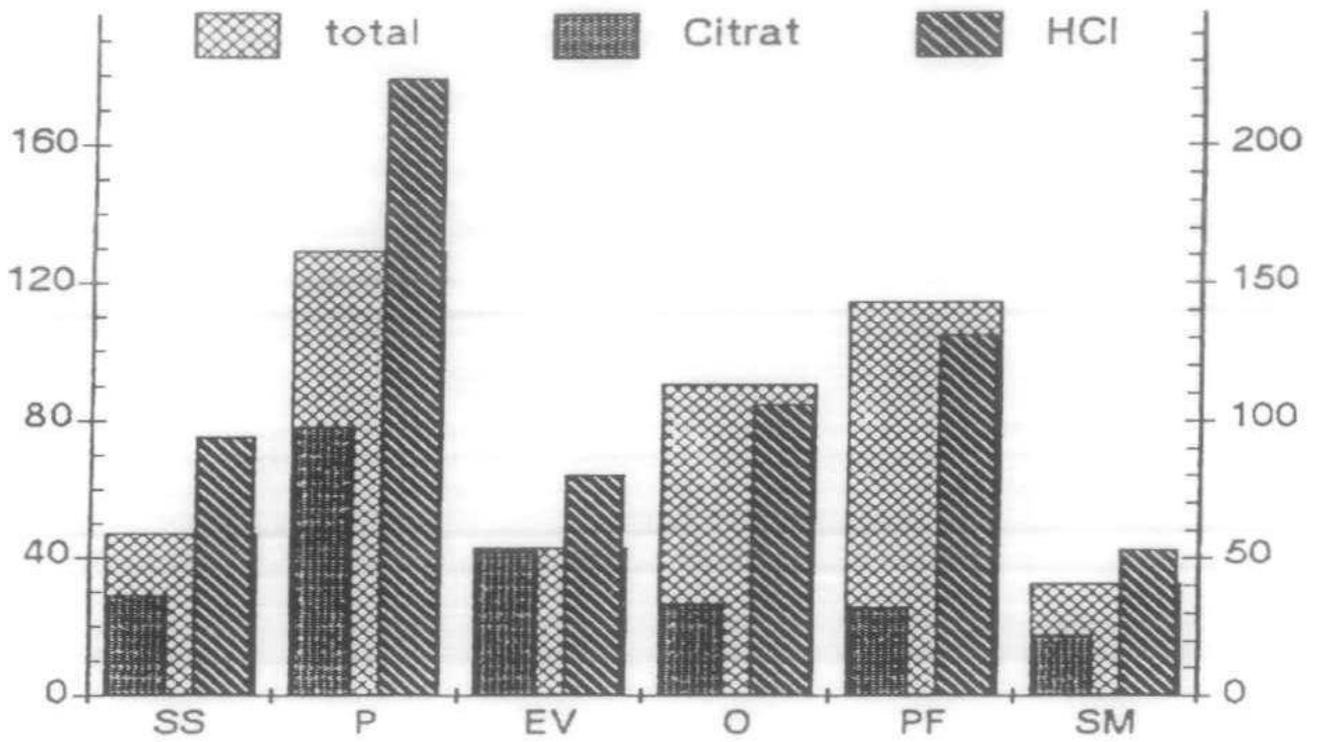


Abb. 7: Cu-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [g/t]

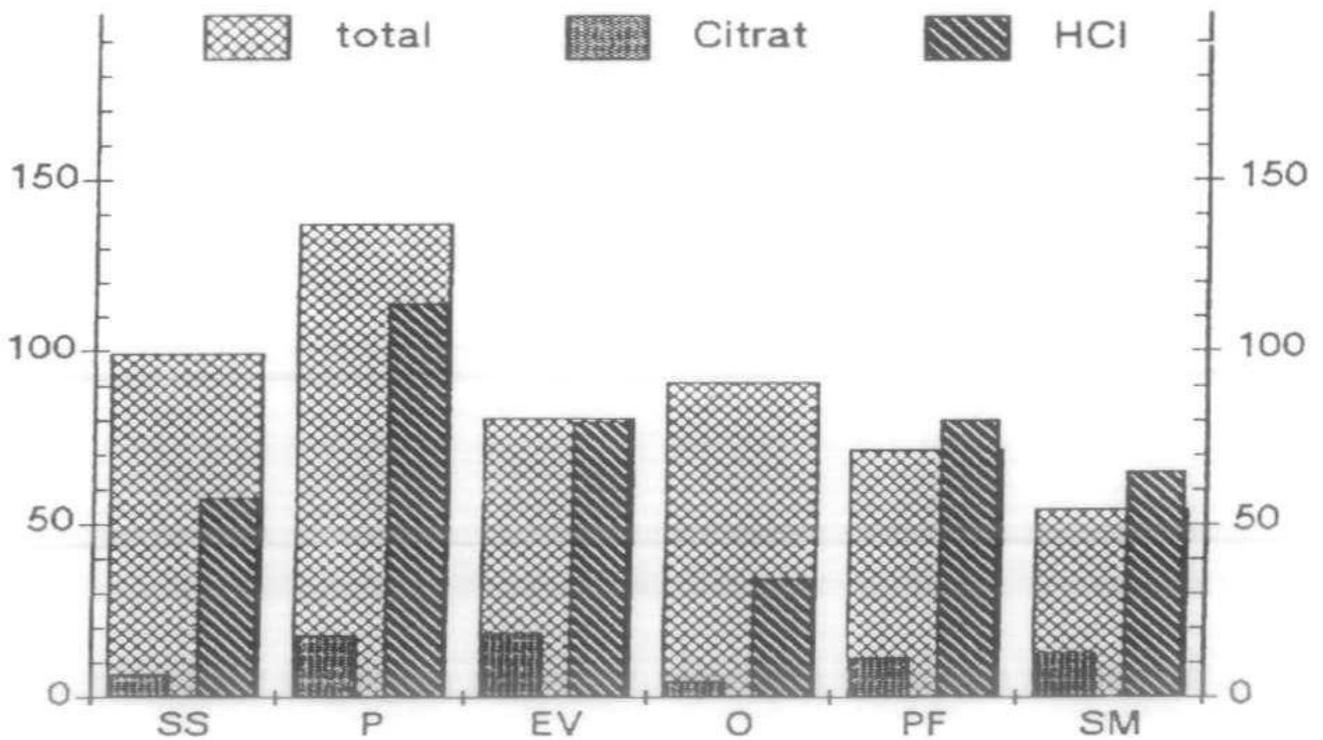


Abb. 8: Zn-Freisetzung im Vergleich zum Gesamtgehalt (li.) und seiner Verfügbarkeit (re.) [g/t]

Den Gehalten verschiedener Schwermetalle in den Gesteinsmehlen sind in Tab. 6 die in der BRD zugelassenen Mengen dieser Elemente bei jährlicher Ausbringung von Klärschlamm gegenübergestellt. Eine praxisübliche Anwendung von Gesteinsmehlen in Höhe von 1 t/ha läßt die in mg/kg angegebenen Werte ebenso als g/ha-Daten auffassen. Unter den analysierten Schwermetallen weist Cr eine Spanne von 6.3 ppm (SM/SS) bis 231 ppm (PF) auf, Ni von 0.9 ppm (SS) bis 87 ppm (PF). Auffällig ist darüberhinaus der AS-Gehalt der Proben SS (12 ppm) und EV (12 ppm).

Tab. 6: Schwermetallgehalt von brasilianischen Gesteinsproben

Element (mg/kg)	Probe EV	O	P	PF	SM	SS	Klär- schlamm
Pb	17,310 <sup>1</sup>	3,450	7,710	16,730	3,940	7,960	2040 <sup>2</sup>
Cd	0,240	0,150	0,080	0,110	0,070	0,370	34
Cr	6,300	19,700	137,200	14,600	230,900	6,300	2040
Ni	0,900	7,100	34,400	6,800	86,700	1,600	340
Hg	0,007	0,027	0,023	0,014	0,004	0,020	43
Cu	47,200	129,000	42,700	90,300	114,500	32,400	
Zn	99,300	137,190	80,500	90,900	71,200	54,300	
As	11,540	1,720	12,080	7,860	5,760	7,700	
Tl	0,310	0,010	0,010	0,170	0,010	0,460	

<sup>1</sup> (g/ha) bei einer jährlichen Gabe von 1 t/ha

<sup>2</sup> (g/ha) bei einer zugelassenen Applikationsmenge von 1,7 t/ha

#### 4 Diskussion

Silikatische Gesteinsmehle zum Zwecke der Bodenverbesserung sowie der Nährstoffzufuhr in der Landwirtschaft anzuwenden, ist ein Fragenkomplex, der in Deutschland (HASELHOFF, 1909; BLANCK, 1912; SACHSE, 1927; REINHOLD et al., 1945), der Schweiz (GISIGER, 1941; GEERING, 1952) und den USA (TURK, 1919; HALEY, 1923; TYNER, 1935; KELLER, 1948) intensive Forschung um die Jahrhundertwende bis in die Zeit kurz nach dem 2. Weltkrieg auslöste. Im Vordergrund zahlreicher Untersuchungen stand die Frage nach einer möglichen K-Versorgung von Pflanzen über die Zufuhr derart schwer aufschließbarer K-Quellen. Daß Pflanzen K aus der Fraktion des schwer verfügbaren K zu nutzen vermögen, belegen Versuche von STAHLBERG (1960) sowie RICHTER (1974) und EBERT (1962). Da dieser Mechanismus aber nur im Falle nicht vorhandener, leichter löslicher K-Quellen im Boden einsetzt, ist die abschlägige Beurteilung über den nutzbringenden Einsatz von Gesteinsmehlen aus der Perspektive der K-Versorgung von Pflanzen verständlich (SCHMITT, 1949). Eine indirekte Bestätigung läßt sich hierzu auch aus den geringen Anteilen des freigesetzten K<sub>2</sub>O ableiten, welches zwischen 4 und 9% des jeweiligen Gesamtgehaltes ausmacht und bei einer potentiellen Applikation von 1 t/ha maximal 1,9 kg/ha „verfügbares“ K<sub>2</sub>O erreichen würde.

Selbst bei bevorzugter Anwendung schwer löslicher Mineralzusätze, wie sie ökologi-

schen Anbau-Systemen eigen sind (AUBERT, 1977), erscheint eine ausschließliche K-Versorgung der Kulturpflanzen über silikatische Gesteinsmehle unrealistisch und unrentabel. Zu analogen Schlüssen führten auch die Untersuchungen von FRAGSTEIN et al., (1988) an deutschen silikatischen Gesteinsmehlen.

Die Verfügbarkeit der anderen Elemente wechselt je nach Herkunft des Gesteins sehr stark. Allen Basalten ist neben den höheren Gehalten an CaO, MgO und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> auch die gesteigerte Abgabe dieser Elemente gemeinsam, was sich mit den vergleichbaren Analysen deutscher Basaltmehle deckt (FRAGSTEIN et al., 1988).

Pflanzversuche mit basischem und ultrabasischem Gesteinsmehl als Mg-Quelle bestätigen diese Laborbefunde, d.h. die Applikation dieser Mehle führte zu nachweisbaren Mg-Anreicherungen im Boden und in den Pflanzen; je nährstoffärmer die Substrate oder Böden, desto deutlicher (CHITTENDEN et al., 1967; RASP, 1974; PFLEIDERER, 1986). Basaltmehl erwies sich als wirksames, nachhaltiges Mittel gegen Fe-Mangel bei Erdnußkulturen auf alkalischem Boden bei ausreichend hoher Dosierung (BARAK et al., 1983). Die Nährstofffreisetzung des Andesits ähnelt weitgehend derjenigen der Basalte; ausgenommen MgO. Unter den Spurenelementen werden hohe Anteile von Mn herausgelöst, wobei sich keine Unterscheidung der einzelnen Gesteinsarten erkennen läßt. Aus den Untersuchungen von RASP (1974) an mit Diabasmehl behandeltem Weidelgras wird die Mn-liefernde Wirkung des Diabas' auf den Substraten Sand und Kompost deutlich, bei erstgenanntem erwartungsgemäß in höherem Maße.

Die Verschiedenartigkeit der sechs untersuchten Proben läßt sich auch aus den Analysen der Schwermetalle veranschaulichen. Die Proben EV (Basalt) und PF (Riodacit) sind im Vergleich zu den anderen Herkünften durch stark erhöhte Cr- und Ni-Werte gekennzeichnet. Geringer fallen die Maxima für Pb (SS und O) sowie As (EV und SS) aus. Die zusätzlich aufgeführten, zulässigen Höchstwerte für die jährliche Applikation von 1,7 t Klärschlamm pro ha in der BRD (KLOKE, 1980) weisen die sechs Mehle als geringer schadstoffbelastet aus als Klär- und Industrieschlämme. Darüberhinaus muß berücksichtigt werden, daß die Verfügbarkeit von Schwermetallen aus Klärschlämmen erheblich über der von Gesteinsmehlen aufgrund andersartiger Zusammensetzung (organische Substanz) und Mineralisierbarkeit liegen dürfte. Bislang sind kaum verwertbare Daten über die Schwermetallabgabe aus Gesteinsmehlen bekannt. Bei langfristiger Gesteinsmehl-Anwendung darf dieser Punkt nicht unberücksichtigt bleiben, obschon das Gefahrenpotential verglichen mit dem kontaminierter Schlämme deutlich niedriger einzustufen ist. Dies läßt sich aus den Arbeiten mit der Vulkanasche des *Mt. St. Helens* belegen, bei denen selbst Dosierungen bis zu knapp 1000 t/ha (!) keine Schwermetallanreicherungen in den untersuchten Kulturen verursachten (COCHRAN et al., 1983; MAHLER und FOSBERG, 1983); allerdings fand der Zeitfaktor in diesen, auf eine Vegetation angelegten Versuchen keine Berücksichtigung.

## 5 Zusammenfassung

Sechs brasilianische Gesteinsmehle ( $< 63\mu$ ) aus Basalt (3), Riodacyt (2) und Andesit (1) wurden auf ihre chemische Zusammensetzung sowie die Elementfreisetzung in Wasser, 0,1 m Citronensäure sowie 1 n Salzsäure untersucht. Der thermische Aufschluß in Salzsäure mobilisiert mehr Elemente als die Extraktionen in den beiden anderen Medien. Analysiert wurden aus der Sicht der Pflanzenernährung wesentliche Nährstoffe – Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu und Zn. Bei den Makroelementen überwiegt die Abgabe von CaO und MgO, bei den Spurenelementen  $Fe_2O_3$  und Mn.

## Summary

The weathering properties of six Brazilian rock dusts ( $< 63\mu$ ) were investigated under laboratory conditions. Of the tested dusts 3 samples were basalt, 2 riodacyte, and 1 andesite. Extraction media were water, citric acid (1M) and hydrochloric acid (1N). The parameters measured were pH-value and (under the point of view of plant nutrition) the macro elements Ca, Mg, K and Na as well as the trace elements Fe, Mn, Cu and Zn. Of the tested rocks, the basalt samples are characterized by a high release of Ca and Mg. Mn was extracted to a greater extent than Cu and Zn. The aspect of heavy metal content of rock dusts and the potential contamination of treated soils and plants are discussed.

## Literatur

1. AUBERT, C., 1977: L'agriculture biologique, pourquoi et comment le pratiquer. Le Courrier du Livre, 3<sup>e</sup> éd.
2. BARAK, P.; Y. CHEN and A. SINGER, 1983: Ground basalt and tuff as iron fertilizers for calcareous soils. *Plant Soil* **73**, 155-158
3. BLANCK, E., 1912: Die Glimmer als Kaliquelle für die Pflanzen und ihre Verwitterung. *J. Landw.* **60**, 97-110
4. BLANCK, E., 1913: Die Bedeutung des Kalis in den Feldspaten für die Pflanzen. *J. Landw.* **61**, 1-10
5. CHITTENDEN, E. T.; D. J. STANTON; J. WATSON and K. J. DODSON, 1967: Serpentine and dunite as magnesium fertilizers. *N. Z. J. agric. Res.* **10**, 160-171
6. COCHRAN, V. L.; D. F. BEZDICEK; L. F. ELLIOTT and R. J. PAPENDICK, 1983: The effect of Mount St. Helens volcanic ash on plant growth and mineral uptake. *J. Environ. Qual.* **12**, 415-418
7. EBERT, D., 1962: Untersuchungen zur Kali-Nachlieferung von Ackerböden auf paläozoischen Gesteinen. *Z. landw. Versuchs- und Untersuchungswesen* **8**, 206-217
8. FRAGSTEIN, P. VON, 1982: Steinmehle in der Landwirtschaft. *IFOAM-Bulletin* **44**, 7-11
9. FRAGSTEIN, P. VON; W. PERTL und H. VOGTMANN, 1988: Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **151**, 141-146
10. GEERING, J., 1952: Wie wirkt Urgesteinsmehl? *Jb. Landw. Schweiz* **66**, 715-753
11. GISIGER, L., 1941: Die Wirkungen der Steinmehldüngung auf Wachstum, Ertrag und Qualität der Pflanzen. *Landw. Jb. Schweiz* **55**, 95-115

12. GOLDICH, S. S., 1938: A study in rock-weathering. *J. Geol.* **46**, 17-58
13. HALEY, D. E., 1923: Availability of potassium in orthoclase for plant nutrition. *Soil Sci.* **15**, 167-180
14. HASELHOFF, E., 1909: Untersuchungen über die Zersetzung bodenbildender Gesteine. *Landw. Vers. Stat.* **70**, 53-143
15. KELLER, W. D., 1948: Native rocks and minerals as fertilizers. *The Scientific Monthly* **66**, 122-130
16. KLOKE, A., 1980: Richtwerte 80. *Mitt. VDLUFA* **1-3**, 9-11
17. MAHLER, R. L. and M. A. FOSBERG, 1983: The influence of Mount St. Helens volcanic ash on plant growth and nutrient uptake. *Soil Sci.* **135**, 197-201
18. MÜLLER, G. und I. FÖRSTER, 1963: Der Einfluß mikroskopischer Bodenpilze auf die Nährstoff-freisetzung aus primären Mineralien, als Beitrag zur biologischen Verwitterung. *Zbl. Bakt. II* **116**, 372-409
19. MÜLLER, G. und I. FÖRSTER, 1964: Der Einfluß mikroskopischer Bodenpilze auf die Nährstoff-freisetzung aus primären Mineralien, als Beitrag zur biologischen Verwitterung. *Zbl. Bakt. II* **118**, 594-621
20. PFLEIDERER, H., 1986: Wirkungen meliorativer Gaben von Gesteinsmehlen zu Sandboden und von Gesteinssanden zu Tonboden auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und die Veränderung einiger bodenphysikalischer und -chemischer Kennwerte. Dissertation, Universität Hohenheim
21. RASP, H., 1974: Gefäßversuch mit Diabas-Urgesteinsmehl. *Landw. Forsch.* **27**, 294-308
22. RAZZAGHE, M. K. et M. ROBERT, 1979: Géochimie des éléments majeurs des micas en milieu organique mecanismes de l'altération des silicates. *Ann. agron.* **30**, 493-512
23. REINHOLD, J.; E. HAUSRATH und J. GAHLNBÄCK, 1945: Basaltmehl als Kompostzusatz. *Bodenkunde u. Pflanzenernährung* **36**, 226-260
24. RICHTER, D., 1974: Aufnahme von Kalium aus Tonmineralien und Gesteinsmehlen durch Haferpflanzen. *Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkde.* **4**, 271-279
25. SACHSE, J., 1927: Über die Aufnahme von Nährstoffen aus einem gemahlenden Basalt durch die Pflanze. *Z. Pflanzenern., Düng.* **A9**, 193-223
26. SCHMITT, L., 1949: Die Frage der Düngung mit Steinmehlen. *Landw. Forsch.* **1**, 14-28
27. STAHLBERG, S., 1960: Studies on the release of bases from minerals and soils. *Acta Agric. Scand.* **10**, 185-204
28. STAHLBERG, S., 1960: Studies on the release of bases from minerals and soils. *Acta Agric. Scand.* **10**, 205-225
29. TURK E. DE, 1919: Potassium-bearing minerals as a source of potassium for plant growth. *Soil Sci.* **8**, 269-301
30. TYNER, E. H., 1935: The feeding power of plants for the potassium in feldspar, exchangeable form, and dilute solution. *Soil Sci.* **39**, 405-422
31. WEDEPOHL, K. H., 1967: Geochemie. In: „Lehrbuch der allgemeinen Geologie“, (Hrsg.) R. Brinkmann, Bd. 3, S. 548-606, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart