

**Z81/39**

# **MITTEILUNGEN**

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT**



**Band 39**

**1984**

**I S S N - 0343-107X**

Schriftleitung: P. Hugenroth, Göttingen

MITTEILUNGEN  
DER  
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT

Referate

Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

4. bis 10. September 1983 in TRIER

- Nachträge -

Referate

Sitzung der Arbeitsgruppe Bodenmikromorphologie

27. und 28. März 1984 in Braunschweig

Referate

Sitzung der Arbeitsgruppe Bodenerosion

7. und 8. Juni 1984 in Freising-Weihenstephan

I N H A L T

Seite

I. Jahrestagung Trier 1983 - Nachträge

DOBRZANSKI, B. and R. WALCZAK:	Recent Achievements in Soil Physics in Poland	7-12
ELSOKKARY, I.H. and H.A. MESHREF:	The Chemical Fractionation of Soil Copper in Egyptian Alluvial Soils	13-18
GAUER, J. u. K. STAHR:	Yermosol-Bodenlandschaften in Nordwest- ägypten	19-24
GUDMUNDSSON, Th., R. JAHN u. K. STAHR:	Kalkanreicherung und Krustenbildung in Böden aus jungen Vulkaniten Lanzarotes	25-28
HELAL, H.M. u. D. SAUERBECK:	Zur Veränderung organischer Fraktionen des Bodenphosphors in Wurzelnähe	29-34
PECSI, M.:	Die Auswirkungen des Mikroreliefs auf die Bildung der Alkaliböden in Ungarn	35-40
SCHLICHTING, E.:	Das Projekt "Internationale Referenzbasis für Bodenklassifikation (IRB)"	41-46
SCHNUG, E. u. E. v. FRANCK:	Bedeutung nützlicher Silizium-Effekte für intensiv angebaute landwirtschaftliche Kulturpflanzen	47-52
STAHR, K. u. M. NAKAI:	Der Nachweis von Imogulit in sauren Braun- erden und Podsolen des Südschwarzwaldes und seine Bedeutung für die Bodenentwicklung	53-58

II. Arbeitsgruppe Mikromorphologie, Braunschweig

ALTEMÖLLER, H.J. u. Th. POETSCH:	Zur Mikromorphologie der Bodenbildung aus basaltischem Zersatzmaterial	61-66
BABEL, U.:	Beispiel zum Verständnis von Humus aus der Mikromorphologie	67-74
KRAUSE, W. u. U. BABEL:	Ätzung von Bodenanschliffen für stereolo- gische Untersuchungen	75-78
MAIER-KÖHNE, H.M. u. U. BABEL:	Berücksichtigung des Holmes-Effektes bei stereologischen Messungen an Dünnschliffen	79-84
OSTLENDER, H.L., K.F. SCHREIBER u. R. THÖLE:	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung einer in Vestopal konservierten Bodenprobe	85-90
THYES, L., H. OSTLENDER, K.F. SCHREIBER u. R. THÖLE:	Zur Präparation von in Vestopal konservier- ten Bodenproben für das Raster-Elektronen- mikroskop (REM)	91-96

TIPPKÖTTER, R.:	Die Entwässerung feuchter Bodenproben mit Hilfe der Trocknung im überkritischen Bereich (CP-Trocknung)	97-100
WIGGERING, H.:	Mikromorphologische Untersuchungen zur Verwitterung aufgehaldeter Steinkohlenbergehalddenmaterialien	101-106

III. Arbeitsgruppe Bodenerosion, Freising-Weihenstephan

AUERSWALD, K.:	Nährstoffabträge nach der Ernte von Wintergerste und Raps durch Oberflächenabfluß und Bodenabtrag	109-110
AUERSWALD, K.:	Wirkung von Erosionsschutzmaßnahmen bei Mais	111-112
BECHER, H.H.:	Vergleich der Regenenergie der in Südbayern eingesetzten Regensimulatoren untereinander und mit der natürlicher Starkregen	115-116
ESTLER, M.:	Beiträge der Landtechnik zur Erosionsverminderung	117-122
MOLLENHAUER, K.:	Oberflächenabfluß und Nährstoffabschwemmung auf ausgewählten Acker- und Grünlandstandorten im Einzugsgebiet einer Trinkwassersperre	123-127
SCHEFFER, K.:	Verhinderung von Bodenerosion durch das Maispflanzverfahren	128-132
SCHMIDT, F. u. O. WITTMANN:	Einstufung der potentiellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der ABAG auf der Grundlage der Bodenschätzung	133-138
SCHMIDT, J.:	Experimentelle Untersuchungen und Modellvorstellungen zur Bodenerosion durch Wasser	139-144
SCHMIDT, R.G.:	Ergebnisse von Beregnungsversuchen auf Meßparzellen	145-152
SCHWERDTFEGGER, G.:	Maßnahmen zur Grundwassererneuerung und Erosionsbekämpfung	153-156
SOKOLLEK, V. u. K. WULFF:	Entwicklung einer Erosions-Gefahrenstufenkarte für ein Flurbereinigungsgebiet in Osthessen	157-162
SOMMER, C. u. M. ZACH:	Die Mulchsaat zu Zuckerrüben - eine Möglichkeit zur Minderung des Bodenabtrages	163-168

Referate  
der

JAHRESTAGUNG

der  
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

in

TRIER

vom

4. bis 10. September 1985

- NACHTRÄGE -



Recent Achievements in Soil Physics in Poland

by

Dobrzański, B. and R. Walczak

The increasing importance of the knowledge of the physical properties of soils and agricultural products, influenced the establishment of the Institute of Agrophysics of the Polish Academie of Sciences in Lublin. Institute of Agrophysics coordinates the investigations carried out in some Polish institutes and cooperates with some foreign centers.

Fast progress in the chemization of agriculture has contributed to considerable increase in agriculture production, however, in many cases the profitable limit of using increased quantities of chemical substances had already been reached.

In this situation the physical properties of plants and soils determine further increase of crop and improvement of their quality. As far as soil are concerned, investigations are conducted in Poland along the following lines :

- the development and improvement of methods for the measurement of physical parameters and the construction of the prototype apparatuses,
- the quantitative study and interpretation of physical phenomena occurring in soils, cultivated plants and agricultural products. As to soil : water, air, heat, mechanical properties and surface phenomena are of most interest,
- characterization, under uniform methods of physical properties of various soil units.

---

+) Institute of Agrophysics of the Polish Academie of Sciences, Lublin, Poland

The results obtained are introduced to the soil data bank and used for prediction and programming of soil processes, plant yield and human activities for this purpose.

Investigations of relation between soil-root-plant-atmosphere creating the typical models of physical environment for high plant production are carried out.

For field measurements of water content in the soil profile the soil moisture meter based on the changes of the electric capacity, influenced by the soil water content, was elaborated.

The method makes possible the control of the soil moisture dynamics at any depth of the soil profile without the necessity of sampling. It may replace neutron soil moisture-meter, which are very expensive and more complicated in use.

For measurements of oxygen diffusion rate the apparatus based on the Rickman's principle has been constructed. The modification consists in the automatic control of the potential, between cathode and standard reference electrode.

Another apparatus is a manual spring-penetrometer with a recorder for the measurements of the resistance of soil to cleavage in situ. The main advantage of this penetrometer is accurate record of any alternations in the compactness of the soil profile owing to a special construction of the spring sensor.

For the distant automatic recording of the temperature in soil profile the stationary thermoelectrical thermometer with many sensors, has been constructed.

The investigations carried out in the Institute of Agrophysics on water properties of soils concerned the aspect of interaction between soil physical parameters and its water properties as well as mathematical and physical modelling of energetic state and water movement in the soil.

Among these works some problems were examined. They are as following :

1. Study of water potential-moisture relation in soil with the inclusion of the histeresis effect,
2. Influence of soil compaction and aggregation upon the water binding energy and pore size distribution,
3. Modelling of processes of water and heat transport in soil and influence of parameters of solid soil-phase on its water retention.

The compaction of soil considerably influences the water retention and the magnitude of the hysteresis effect. The effect of hysteresis is particularly evident for low bulk density.

Using the linear regression method, the relations between parameters of solid phase / organic matter content, specific surface area, particle size distribution, bulk density / and different points of water retention were examined. It was found that the simplest and optimal statistical model for prediction of water content for different water potentials is that which contains : specific surface area, mean diameter of particles calculated from particle size distribution and bulk density for the range of pF from 0 till 2.7 whereas for the higher values of pF the number of parameters can be reduced to the specific surface only.

The purpose of the physico-chemical investigations carried out in our Institute is better knowledge of interfacial phenomena and especially the structure of the electric double-layer and its relation to sorption and aggregate-forming processes in soil.

Using the gravimetric method it was established that it is possible to determine the total specific area of soils on the way of adsorption of water vapour, on the basis of a single mea-

surement in the sample and not five or more measurements, as it have been done so far. The external specific surface area of soil is measured using a chromatographic method of heat adsorption and desorption of nitrogen with hydrogen as a carrier gas. For this purpose a gas-chromatograph was adopted.

A high correlation between the values of soil specific surface area and the qualitative composition of humus, sorptive properties of soils, water unavailable to plants, the occurrence of some clay minerals and microporosity of soils, was found.

The characterization of more important soils in Poland with respect to their specific surface area has been made and a corresponding monography with a map was printed.

Determinations of electrokinetical potential in soils are performed with the use of electrophoresis, electroosmosis and flow potential. The influence of different ions on the value of this potential and its relation to soil aggregation was examined.

The increased mechanization results in soil compaction which in turns influenced water, air and heat properties.

In the Institute of Agrophysics the laboratory experiments connected with the influence of water content, stress level and time of loading on the mechanical characteristics of soil are performed.

Especially, the development of deformation in time for controlled forces, the change of stress in time for constant deformation of soils are studied. A triaxial apparatus was adopted to above mentioned investigations. This approach allowed to introduce variable dependent on force coefficients of viscosity and elasticity which up till now have been considered as constant rheological parameters. This complicated differential equations for the mechanical processes in soil, but the use of numerical methods makes

their solution possible. The studies have been confirmed experimentally. The water in connection of the solid grains of soil appeared to be responsible for the investigated processes. The sizes of the element of soil undergoing deformation are of the order of several monomolecular water layers and this amount of water was presented between soil grains for the moisture of soil being investigated.

Aggregate composition and water-stability of soil crumbs are basic parameters characterizing soil structure.

In the Institute of Agrophysics a modified apparatus for measurement water stability of soil aggregates was elaborated, than a new version of soil-aggregation and water-stability indices were proposed, the relationship between aggregate structure and the basic physical characteristics of soil were determined.

Aggregate composition is usually determined by using screen methods consisting in sieving soil samples through a set of sieves with meshes of different diameter on the base of modified Baksheev's apparatus. Similarly the determination of water stability of aggregates is commonly carried out by sieving the soil in sets of sieves immersed in water or in the special solutions of definite concentration and properties. In methods generally used whole soil sample is taken to wet sieve analysis. The fault of these methods is that not all initial fractions of aggregate are of the same representativeness and that we cannot determine which fraction is responsible for the smallest aggregates obtained as a result of the analysis.

In proposed method particular fractions of soil aggregates, obtained with the dry sieve method, are investigated separately and we get a detailed information concerning disintegration of

particular fraction under water effect, as well as quality and quantity of disintegration products. We can identify if a given aggregate is originally water stable or is a product of disintegration of larger aggregates.

On the basis of dry and wet aggregation analysis the simple soil-aggregation index was proposed, the basic point of which is to assign, the fractions of soil aggregates number, representing their agronomical value. Presented investigations are carried out for determination of the aggregation index for various typological soil units, taking into consideration the whole soil profile and the determination of boundary values of changes of this index in the arable layers of individual soil units.

For recording of a great deal of dynamic physical parameters of soil environment an automatic system of selective gathering and processing of data was elaborated. This system is based on minicomputers and a new version based on microprocessors is constructed.

The Chemical Fractionation of Soil Copper in  
Egyptian Alluvial Soils

by  
Elsokkary, I.H.<sup>+</sup> and H.A. Meshref<sup>++</sup>

Summary

Chemical fractions of copper in some alluvial Egyptian soils, collected from Nile delta and Nile valley, were defined as: water soluble and exchangeable (Cu-CA), weakly bound to inorganic sites (Cu-AAC), organically bound (Cu-PYR), occluded with free oxides (Cu-OX) and residual or mineral structure (Cu-RES) forms. The amounts of total Cu in soils varied from 32.5 to 64.5 ppm with an average of  $52.5 \pm 12.0$  ppm. Average values of 0.25, 0.7, 3.3, 13.8 and 35.5 ppm are presented by Cu-CA, Cu-AAC, Cu-PYR, Cu-OX and Cu-RES fractions, respectively.

Introduction

Knowledge of the total soil content of an element provides only limited information about its chemical behavior and consequently its availability to plants. Various chemical methods have been proposed for extracting certain fractions of an element from soils rather than the total. Some of these methods have been used for predicting chemical parameters and availability of elements in the soils (2, 3, 4, 5).

- 
- + ) Soil and Water Sci. Dept., Faculty of Agric.,  
Alex. Univ., Alexandria, Egypt
- ++ ) Soil Sci. Dept., Faculty of Agric.,  
Mansoura Univ., Mansoura, Egypt.

## Materials and Methods

### Soils studied:

Twenty-nine surface soil samples (0-30 cm) were collected from the Nile delta and Nile valley in Egypt. The soils were analyzed for pH (1:2.5 soil-water), organic matter (O.M.), cation exchange capacity (CEC), total carbonate (Tot.  $\text{CO}_3$ ), and sand, silt and clay fractions according to standard methods (1). Free  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was determined by extracting the soil with acid ammonium oxalate reagent (3). Total soil content of copper was determined by digesting 2 g soil with conc.  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  acids mixture and the Cu was measured in the extract (6).

### Chemical fractionation of soil copper:

The methods for fractionation of soil Cu proposed by McLaren and Crawford<sup>3</sup> were used after some modifications as following:

- (1) Soil solution and exchangeable Cu (Cu-CA) were extracted with 0.05 M  $\text{CaCl}_2$ .
- (2) Copper specifically sorbed by inorganic sites (Cu-AAC) was extracted with 25 % (v/v) acetic acid.
- (3) Copper specifically sorbed by organic sites (Cu-PYR): The soil residue from the above extraction was shaken with 0.1 M potassium pyrophosphate.
- (4) Copper occluded by free oxides (Cu-OX): The residue from PYR-extraction was shaken with acid ammonium oxalate reagent.
- (5) Residual Cu (Cu-RES): The soil residue from the oxalate extraction digested with conc.  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  acids mixture. Copper was determined in the extract (6).

## Results and Discussion

The chemical and physical characteristics of the studied soils are presented in Table 1. The total Cu content of soils varied from 32.5 to 64.5 ppm with

an average 52.5 ppm which are well within the normal ranges reported in the literature (3). The data in Table 3 showed that the soil pH, O.M., total carbonates, free  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and clay content are all significantly correlated with total soil Cu.

Table 1: Some chemical and physical characteristics of the investigated soils

Variables	Range	Average	Standard Deviation
pH	7.70 - 8.30	7.9	0.40
O.M. (%)	0.85 - 2.95	1.8	0.75
C.E.C (meq/100 g)	19.50 - 44.00	30.5	10.50
Total $\text{CO}_3^{=}$ (%)	3.85 - 8.35	5.95	2.85
Free $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	0.18 - 0.66	0.36	0.20
Total Cu (ppm)	32.50 - 64.50	52.50	12.00
Sand (%)	20.00 - 80.00	40.00	15.00
Silt (%)	10.00 - 45.00	28.00	12.00
Clay (%)	10.00 - 45.00	30.00	17.00

Chemical fractionations of soil copper:

The range and average values of the various fractions of Cu in the soils are given in Table 2.

Table 2: The range, average and standard deviation values of the contents of Cu in its individual fractions, ppm.

Cu-fraction	Range	Average	Standard Deviation
Cu-CA	- 0.45	0.25	0.10
Cu-AAC	0.20 - 1.65	0.72	0.20
Cu-PYR	0.55 - 6.85	3.30	1.20
Cu-OX	6.80 - 18.70	13.80	5.00
Cu-RES	24.00 - 42.50	35.50	6.80

It is clear that the Cu-CA fraction constituted the least amount of Cu in the soils (- 0.45 ppm) with an average 0.25 ppm which corresponded about 0.5 percent of the total. The use of 0.05 M  $\text{CaCl}_2$  reagent in preference to the frequently used neutral N-ammonium acetate is due to its specificity to extract less organic materials and it impedes adsorption of ions by exchange sites (3).

The Cu-AAC fractions were somewhat higher than expected (0.20-1.65 ppm). This is attributed to the dissolution of some precipitated Cu by acetic acid. It is also reported that this reagent extracts greater quantities of ions than are present on the exchange sites of oxide materials (3) and clay minerals (3, 4, 5). Mitchell, Reith and Johnston (5) and McLaren and Crawford (3) considered that this reagent extracts mainly inorganically bound ions. They found in their soils significant relations between Cu-AAC and clay content.

The Cu-PYR fraction constituted relatively low portion of total soil copper (6.2 %). It is considered that pyrophosphate reagent extracts only the mainly organically bound Cu and this was supported by the significant correlation between Cu-PYR and O.M. (Table 3). The data in Table 3 also show that the amount of Cu PYR was not only correlated with O.M. but also with clay content. The latter relationship is probably best explained by a strong positive relationship between O.M. level and clay contents of these soils.

Table 3: Simple correlation coefficients between the individual fractions of soil Cu and some soil variables

	pH	O.M.	Tot. $\text{Co}_3$	Free- $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Clay
Cu-CA	0.25	0.36 <sup>+</sup>	- 0.20	0.10	0.37
Cu-AAC	0.15	0.06 <sup>+</sup>	0.28	0.16	0.38 <sup>+</sup>
Cu-PYR	0.13	0.53 <sup>++</sup>	0.19	0.12	0.36 <sup>+</sup>
Cu-OX	0.14	0.40 <sup>+</sup>	0.20	0.40 <sup>+</sup>	0.50 <sup>++</sup>
Cu-RES	0.15	0.19	0.12	0.30 <sup>+</sup>	0.52 <sup>++</sup>
Cu-Tot	0.10	0.60 <sup>++</sup>	0.38 <sup>+</sup>	0.40	0.50 <sup>++</sup>

- and ++ Significant at 5 and 1 % P level, respectively.

The portion of Cu-OX fraction was relatively high, varying from 6.8 to 18.7 ppm with an average of 13.8 ppm (25 % of the total). The function of free  $Fe_2O_3$  in the chemistry of heavy metals in soils has been extensively studied by many workers (2). The amounts of Cu-OX were positively correlated with free  $Fe_2O_3$  and clay content and negatively correlated with soil O.M. (Table 3).

The Cu-RES constituted the highest portion of soil Cu (67 % of the total). This fraction can be considered as the primary form of native copper in the investigated soils. This conclusion is supported by the significant correlation between Cu-RES and clay content (Table 3).

Simple correlation coefficients between the amount of Cu in the various fractions are given in Table 4. There are significant correlations between Cu-TOT and Cu-PYR, Cu-OX and Cu-RES. This points out that these three last fractions are the main sources for total soil Cu (about 92 % of the total). This would be expected due to the low solubility of Cu in these soils. The significant correlation between Cu-OX, Cu-RES and Cu-TOT suggests the presence of some kind of an equilibrium between these three fractions. However, it should be emphasized that the rates of exchanges in these equilibria may be very low, especially under natural soil conditions.

Table 4: Simple correlations coefficients between the individual fractions of soil copper

	Cu-AAC	Cu-PYR	Cu-OX	Cu-RES	Cu-TOT
Cu-CA	0.15	0.30	0.28	0.29	0.25
Cu-AAC	-	0.08	0.14	0.28	0.21
Cu-PYR	-	-	0.40 <sup>+</sup>	0.12	0.42 <sup>+</sup>
Cu-OX	-	-	-	0.30	0.56 <sup>++</sup>
Cu-RES	-	-	-	-	0.38 <sup>+</sup>
Cu-TOT	-	-	-	-	-

+ and ++ Significant at 5 and 1 % P level, respectively.

Since the Cu-AAC is assumed to be the most available fraction of soil copper and due to its extremely low level in these soils, it is considered inadequate

for normal plant growth. As previously mentioned the Cu-AAC fraction which is mostly associated with soil carbonates might be more available than the Cu-PYR and Cu-OX fractions. It has been reported that this fraction might act as a reservoir for supplying the plants with Cu. In this instance, the rate of utilization of Cu-AAC would depend on several factors, i.e., soil texture and the pattern of the plant roots system.

#### References

- (1) Black, C.A. (Ed.), 1965: Methods of Soil Analysis. Part 1 and 2, Series of Agronomy No. 9. Amer.Soc. Agron. Inc. Pub., Madison, Wisconsin, USA.
- (2) Lindsay, W.L. and W.A. Norvell, 1969: Development of a DTPA micronutrient soil test, Agron. Abstr. p 84.
- (3) McLaren, R.G. and D.V. Crawford, 1973: Studies on soil copper. 1. The fractionation of copper in soils. J. Soil Sci. 24, 172-181.
- (4) Meshref, H.A., 1981: Schwermetallstatuts(Cu, Fe, Mn, Zn) Berliner Böden unterschiedlicher Nutzung. Diss. TU Berlin.
- (5) Mitchell, R.L., J.W.S. Reith and I.M. Johnston, 1957: Trace element uptake in relation to soil content. J. Sci. Food Agric. 8, Suppl. Issue, 551-559.
- (6) Øien, A. and K. Gierdingen, 1977: Determination of Cd and Pb in soils by means of solvent extraction and atomic absorption. Acta Agric. Scand. 27, 60-70.

Yermosol-Bodenlandschaften in Nordwestägypten

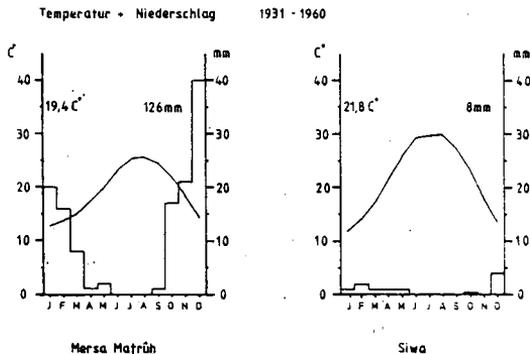
von

Gauer, J.<sup>+</sup> und K. Stahr<sup>+</sup>

Seit 1982 führen wir Untersuchungen in Nordwestägypten durch mit der Zielsetzung, den Einfluß abnehmender Niederschläge im Übergang von trockener Halbwüste zur Vollwüste in einem gleichaltrigen Gebiet mit vergleichbarem Ausgangsmaterial auf Bodenentwicklung und Verteilung zu erfassen.

Als Untersuchungsgebiet wurde das Libysche Plateau zwischen Marsah Matrüh an der Mittelmeerküste und der Quattara-Depression im Süden gewählt. Es handelt sich um eine Schichtstufenlandschaft in einer Höhenlage zwischen 100 und 250 m aus marinen Kalken des Miozäns (SAID, 1962 und ELGABALY et al., 1969). Der Nordrand wurde bis in 20 km Tiefe durch pliozäne Meeresabrasion überprägt.

Den klimatischen Rahmen dieser Landschaften zeigen die Klimadiagramme von Marsa Matrüh und der Oase Siwa.



<sup>+</sup>Institut für Ökologie - Regionale Bodenkunde - der Techn. Universität Berlin, Salzufer 11-12, 1000 Berlin 10

Die Bodenlandschaften sollen anhand zweier typischer Beispiele vorgestellt werden.

Landschaft 1 (Abb. 1) liegt 30 km südlich von Matruh im Übergang von der jungpliozänen zur mittelplioziänen Abrasionsebene, der durch eine 10 m hohe Stufe markiert ist. Die höhere Fläche wird durch kurze Wadis angeschnitten, die ohne weiterführendes Entwässerungssystem auf der tieferen Fläche auslaufen. Die Ebenen charakterisiert (Abb. 1, 41, 43) ein luvic Yermosol mit petrocalcic, sodic Phase (FAO-Klassifikation, 1974). Die Oberfläche wird von einem Steinpflaster aus Calcretebruchstücken gebildet. Der Oberboden ist prismatisch aggregiert und wird von einer plattigen, stark vesikulären Kruste oben abgeschlossen, die einerseits gegen Erosion schützt, andererseits die Infiltration hemmt. Die org. Substanz ist mit gewichteten 0,25 % nur für "very weak ochric" diagnostisch. Der argillic B-Horizont zeigt deutliche Tonbeläge. Das Tonverlagerung möglich ist, trotz hoher Kalkgehalte (30 %), muß auf die hohe Natriumsorption von über 8 % der Austauschkapazität zurückgeführt werden. Die oberste Lage des "hardpan calcrete" Horizonts bilden einzelne Platten, jede für sich von einer laminairen Rinde umgeben. Mit zunehmender Tiefe wachsen diese Platten fest zusammen. Farbe und Struktur der Matrix sowie der Einschluß von rezent an der Oberfläche vorkommender Landschnecken zeigen die pedogene Bildung im Substrat des Oberbodens. Der Kalkgehalt beträgt 70 %. Nach Süden steigt die Oberkante des Calcretes an. Offen ist bisher die Frage des Ausgangsmaterial der Hochflächenböden. Der durchgehend quarzitisches Sandanteil sowie das Vorkommen von Schneckenschalen in allen Horizonten führten zur Arbeitshypothese, daß hier eine Residualanreicherung von feineren Kornfraktionen des Flugsandes in Verbindung mit Tonverlagerung zur Kalklösung hinzukommen. Möglicherweise wird dies durch Aufwärtswandern von grobem Material bei Quellung und Schrumpfung verstärkt (SCHLICHTING, 1978), zumal diese These auch eine gute Erklärung für die Bildung des Desert-Pavements aus Calcretetrümmern des Unterbodens abgibt. Bestätigt wird diese Hypothese durch das Auftreten von luvic Xerosols in flachen Karstmulden mit rotlehmartiger Verwitterung im anstehenden kreidigen Kalkstein durch oberflächiges Zuschußwasser. Auch die "petrocalcic" Yermosols an den erodierten Rändern der Wadis, die der israelischen Lokalform "Nari" (YAALON und SINGER, 1974) ähneln (Kalkgehalte über 90 %), deuten auf eine anders verlaufende Bodenentwicklung in den anstehenden Kalksteinen hin. Im Wadi haben Windberuhigung und kolluviale Verschwemmung zur Sandakkumulation geführt. Wadiboden ist ein cambic Arenosol aus einem 70 cm mächtigen, schwach verwitterten Sandpaket über einem begrabenen luvic Yermosol (Abb. 1, 42). Keramikscherben im unteren Bereich zeigen eine jüngere Erosionsphase an, die durch zunehmende Überweidung der Hochflächen

ausgelöst wurde. Der Anstieg der Salzgehalte im Unterboden markiert die Durchfeuchtungsgrenze in 2-3 m Tiefe, ebenso wie eine sek. Kalkakkumulation. Die Humusgehalte des begrabenen Yermosols entsprechen denen der Hochflächenböden.

Die zweite Kleinlandschaft (Abb. 2) liegt 40 km weiter südlich im Zentrum des Libyschen Plateaus. Das Landschaftsbild wird durch weite, flach nach Westen einfallende Schichtflächen mit niedrigen Schichtstufen geprägt, denen kleine Playas vorgelagert sind. Diese vegetationsfreien Playas werden von einem schmalen Vegetationsgürtel der *Thymelea hirsuta* und *Zygophyllum album* Gesellschaften gesäumt. Schichtflächenböden sind Lithosole, von uns in "outcrop" Lithosole (Ii) mit über 90 % schwach verkrustetem Festgestein und "pocket" Lithosole (Ip) mit verbrauntem stark vesikulärem Feinbodenmaterial (Abb. 2, 33) unterteilt. Die organische Substanz ist mit 0,2 % in der FE und den obersten cm des anstehenden Schalentrümmerkalk relativ hoch, möglicherweise als Folge der Flechtenbesiedlung. Die Salzgehalte sind mäßig, die Kalkgehalte der FE betragen 65 %. Den von Entwässerungsrinnen durchzogenen Randbereich der Playa nimmt ein haplic Yermosol ein (Abb. 2, 32). Die obersten 10 cm bestehen aus feingeschichtetem, sandig, kiesigem Schwemmsediment über Verwitterungshorizonten aus anstehendem kreidigen Kalkgestein. Die Kalkgehalte sind mit 75 % hoch. Schwache sek. Kalkanreicherung ist im B/Ck sichtbar. Ein ausgeprägter Kalkanreicherungshorizont fehlt, wie auch in den anderen Böden dieser Landschaft. Die org. Substanz (0,1 %) und Salzgehalte (1-4 mg) sind sehr gering. An der Basis der Schichtstufen außerhalb des Einflusses von Zuschußwasser wird dieser Kalkstein durch Salzsprengung pulverartig verwittert (Fesch-Fesch) und ist nach Zerstörung der dünnen Av-"Kruste" sehr erosionsanfällig. Das Zentrum der Playa nimmt ein "sodic" takyric Solonchak ein (Abb. 2, 31). Die Oberfläche ist von einem polygonalen Spaltensystem durchzogen. In einzelnen Teilbereichen sind Steinringe ausgebildet, Tonscherbenreste deuten Winderosion an. Die obersten 10 cm bilden eine harte, plattige Kruste, der Unterboden ist kohärent bis sandig, Spalten reichen bis 45 cm Tiefe. Die Körnung t-uL zeigt die Anreicherung von Feinmaterial aus der umgebenden Landschaft an. Die Kalkgehalte sind mit unter 50 % relativ gering, die Salzgehalte mittel. Deutlich ist die Alkalisierung mit 15-18 % Na-Sorption. Es handelt sich also um einen Salzkalkali-Boden, der dann auch an der schichtstufenabgewandten Seite zu einem Solonetz überleitet.

Der Übergang von der trockenen Halbwüste zur Vollwüste führt im Libyschen Plateau zur Ablösung einer luvic Yermosol, calcic Yermosol-Arenosol-Bodenschafter durch eine Lithosol-haplic Yermosol-Solonchak-Bodenschafter. Während in ersterer Tonverlagerung, Kalklösung und Calcretebildung als dominante Prozesse auftreten, überwiegen in der trockneren phys. Verwitterung und Salzverwitterung. Kalklösung und Verbraunung treten zurück. Die Bedeutung von Wasser- und Windumlage-

zung nimmt zur zweiten Landschaft relativ zu. Das Fehlen selbst relikttischer Zeichen einer intensiveren Bodenbildung etwa in Form von Calcrete-Resten deutet hier auf eine lange Konstanz der hochariden Bildungsbedingungen hin.

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die diese Arbeit im Rahmen des SFB 69 "Geowissenschaftliche Probleme arider Gebiete" fördert.

#### Literatur

- ELGABALY, M.M., I.M. GEWAIFEL, M.N. HASSAN and B.G. RZOANOV (1969): Soil Maps and Land Resources of U.A.R. - Inst.Land Reclamation Alex. Univ., Res.Bull., 22.
- EL SAZLY, M.M. (1964): Geology, Pedology and Hydrology of Marsa Matruh Area (Western Mediterranean Littoral, U.A.R.). - 215 p. PHD-Thesis, Cairo Univ.
- SAID, R. (1962): The Geology of Egypt. - Elsevier, Amsterdam.
- SCHLICHTING, E. (1978): Clay accumulation in vertic subsoils by sand ejection. - 11<sup>th</sup> Intern. Congr. Soil Sci., Edmonton, Vol. 1, 270-271.
- SHATA, A. (1957): Geology and Geomorphology of Wadi El Kharruba area. - Publ. Inst. Desert, 10, Cairo.
- YAALON, D.H. and S. SINGER (1974): Vertical Variation in Strength and Porosity of Calcrete (Nari) on Chalk, Shefela, Israel and Interpretation of its Origin. Journ. Sedimentary Petrology, 44, p. 1016-1023.

Abb.1

0 m 500

5 m  
0

N

Jungpliozän  
Yl

Yk

Yl

Xl

Wadi

Rc

Qc

Mittelplozän

S

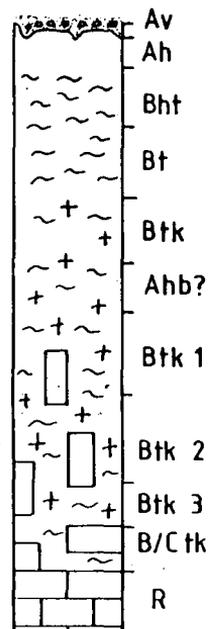
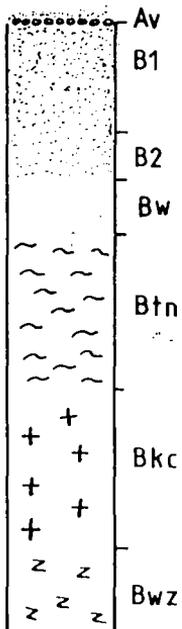
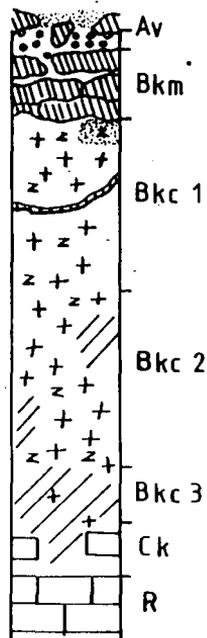
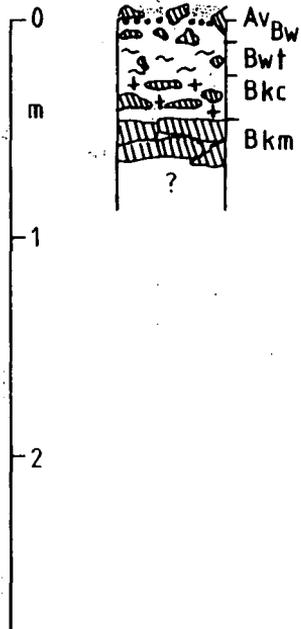
luvic Yermosol (43)  
petrocal. sodic

calcic Yermosol  
petrocalcic

cambic Arenosol (42)  
sodic

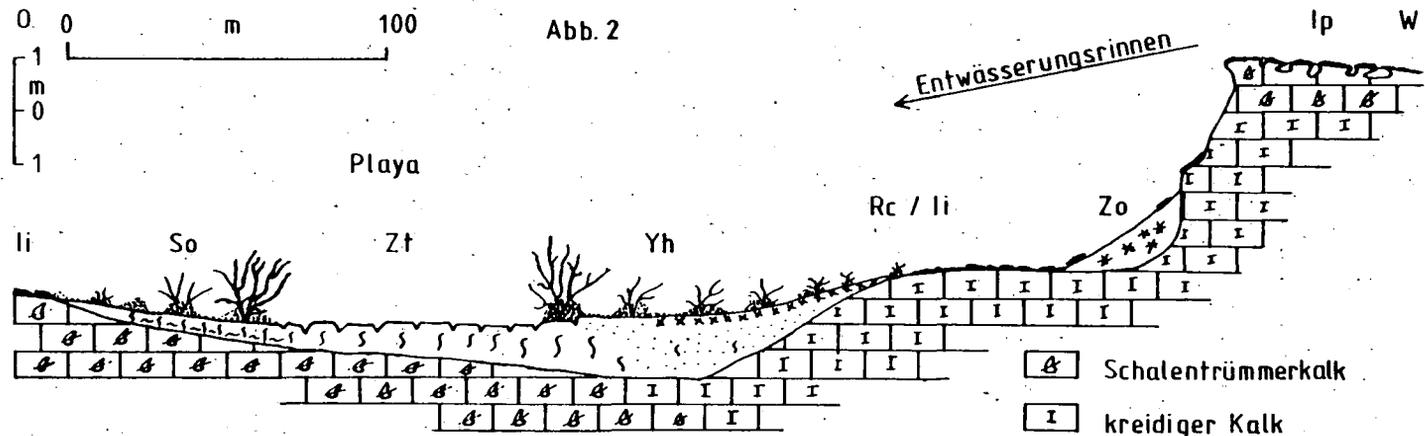
luvic Yermosol (41)  
petrocal. sodic

luvic Xerosol  
sodic



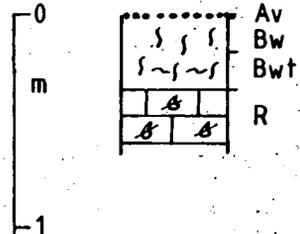
- ooo vesikulärer A
- ~ Tonbeläge
- ++ Kalkkonkretionen
- /// diffuser Kalk
- Calcrete
- z z Salze
- Sand

Abb. 2



orthic Solonetz

lithic



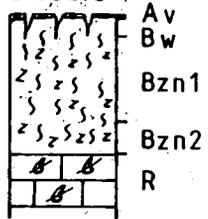
+ Kalkkonkretionen

\* pulvrige Kalkverwitterung

z Salze

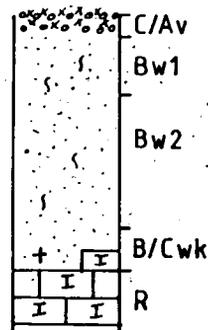
takyric Solonchak

lithic sodic (31)



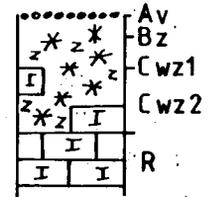
haplic Yermosol

(32)



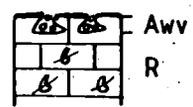
orthic Solonchak

[(lithic)]



pocket Lithosol

saline (33)



x Kiese

•• Sande

§§ Lehme

•• vesikulärer A

~ Tonbeläge

Kalkanreicherung und Krustenbildung in Böden  
aus jungen Vulkaniten Lanzarotes

von

Gudmundsson, Th.<sup>+</sup>, R. Jahn<sup>+</sup> und K. Stahr<sup>-</sup>

Einführung

Lanzarote, eine der Kanarischen Inseln, ist aus unterschiedlich alten Basaltserien aufgebaut (FUSTER et.al., 1968), worauf die Bodenbildung in Zeitabhängigkeit untersucht werden kann (JAHN et.al., 1983). Die zwei ältesten Serien, Fläche I aus Miozän-Pliozän und Fläche II aus Mittelpleistozän bis älterem Jungpleistozän, sind durch stark erodierte Böden und mächtige Umlagerungen gekennzeichnet. Auf den Flächen III, Jungpleistozän (~50.000 Jahre alt), der etwa 8.000 Jahre alten IV<sub>A</sub> und der 250 Jahre alten IV<sub>B</sub> findet man weniger erodierte oder nicht erodierte Böden. Diese drei jüngsten Flächen sind damit geeignet, die in situ Bodenbildung mit der Zeit zu studieren. JAHN et.al. (1983) zeigten, daß die Mengen an Ton und Kalk im Boden kontinuierlich steigen und daß die Kalkanreicherung auf der jüngsten Fläche bereits angefangen hat. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Makro- und Mikromorphologie dieser Kalkanreicherung darzustellen und daraus Hypothesen abzuleiten, wie es zu diesen Anreicherungen gekommen ist. Alle beschriebenen Profile sind aus Lapilli gebildet.

Makro- und Mikromorphologie der Kalkanreicherung

Fläche IV<sub>B</sub> (250 Jahre alt): Die obersten 5-10 cm in diesem sehr schwach entwickelten Boden (eutric Regosol) sind weitgehend kalkfrei. Darunter liegt ein leicht verfestigter, ~2 cm mächtiger Horizont mit bis zu max 5 % CaCO<sub>3</sub>. Der Calcit ist überwiegend microcalcitisch (Microcalcit, Microsparit und Sparit nach WIEDER und YAALON, 1982), ist verteilt in der Matrix und bildet Überzüge auf dem Lapilli. In geschlossenen Hohlräumen in dem Lapilli kommen einzelne Sparit-Kristalle vor.

---

<sup>+</sup> Institut für Ökologie - Regionale Bodenkunde - der Techn. Universität Berlin, Salzufer 11-12, 1000 Berlin 10

Unter dem verfestigten Horizont, in dem mehr oder weniger unveränderten Lapilli, kommen einzelne Überzüge auf Steinen vor.

Fläche IV<sub>A</sub> (Altholozän ~ 8000 Jahre alt): Unter dem 30 cm mächtigen Oberboden (mollic Andosol) ist Kalkanreicherung diskontinuierlich vorhanden bis über 300 cm Tiefe. Die Kalkanreicherung kommt überwiegend in dünnen, 2-4 cm mächtigen, horizontalen Bändchen vor, die teilweise verhärtet sind und als Anfangsstadium der Kalkkrustenbildung angesehen werden. Am stärksten sind diese Bändchen in 200-300 cm Tiefe ausgebildet. Im oberen Teil des Profils sind die Bändchen häufig diskontinuierlich, schwach ausgebildet und in geringen Abständen.

Die am besten ausgebildeten Bändchen sind überwiegend als Doppelkrüstchen aufgebaut, d.h. im Inneren des Bändchens sind zwei verhärtete Kalkschalen, die aneinander liegen. Der Kalkgehalt nimmt dann nach oben und unten rasch ab. Charakteristischer Aufbau einer Krustenhälfte ist folgendermaßen: Schalenrinde, 0,5-1,5 mm mächtig, überwiegend aus konkretionärem Kalk, scharfer Übergang zur tonreichen, kalkhaltigen aber stein- und sandfreien Matrix, der gleitend in den kalkeingebetteten Lapilli übergeht. Der Kalk ist überwiegend microcalcitisch, Sparite kommen nur in geschlossenen Hohlräumen vor. In der oberen Hälfte des Bändchens sind große Poren im Bereich der tonigen Matrix und im kalkeingebetteten Lapilli häufig.

Eine Besonderheit der Kalkanreicherung sind vertikale Kalkpfeifen in unregelmäßigen Abständen. Diese Pfeifen sind auf der Fläche III stärker ausgeprägt und werden dort beschrieben.

Fläche III (Jungpleistozän ~ 50.000 Jahre alt): Die Böden der maximalen Bodenentwicklung, luvisc oder calcic Xerosole, sind häufig erodiert. Vom Mittelhang abwärts können Böden mit ungestörten Kalkanreicherungshorizonten gefunden werden. Der erste Kalkanreicherungshorizont, unter bis zu 1 m kalkfreiem Boden, ist häufig 40-60 cm mächtig. Darunter folgen Bändchen ähnlich wie für Fläche IV<sub>A</sub> beschrieben wurden. Der 40-60 cm mächtige oberste Kalkanreicherungshorizont ist durch horizontale Zonierung charakterisiert, die häufig in Blöcke mit groblaminärem Gefüge zerfällt und stellenweise durch Aufwölbung gebrochen ist. Diese Erscheinung wird als das Zusammenwachsen horizontaler Bändchen interpretiert, und sowohl die groblaminäre Struktur als auch das Aufwölben werden als Resultate einer Turbation, die durch die Kalkanreicherung verursacht wird, angesehen. Charakteristisch sind vertikale Pfeifen, 5-10 cm Durchmesser, die in regelmäßigen Abständen vorkommen. Die Pfeifen bestehen außen mit kalkeingetränktem Lapilli, sind im Inneren aber mit kalkhaltigem, tonigem Bodenmaterial verfüllt. In den Pfeifen wie auch in den Krüstchen sind Wurzelreste häufig.

In den Lapillilagen zwischen den Kalkanreicherungsbandchen sind Kalküberzüge auf den Lapillisteinen sehr häufig und sorgen für 1-3 % Kalkgehalt in diesen Lagen.

Die Mikromorphologie der Kalkanreicherungsbandchen hat große Ähnlichkeiten mit denen auf Fläche IV<sub>A</sub>. Die Kalkanreicherung in den Krusten ist überwiegend konkretionär, und die Konkretionen sind besser ausgebildet als in IV<sub>A</sub>. Der mit Kalk eingetränkte Lapilli in den Bandchen und Pfeifen ist im Inneren häufig sehr stark verwittert, während der nicht eingetränkte Lapilli geringe Verwitterungserscheinungen aufweist.

### Diskussion

Die morphologischen Beobachtungen zeigen, daß der Prozess der Kalkanreicherung in Zusammenhang mit mehreren Vorgängen steht. Dieses ist in Fig. 1 verdeutlicht. Dort ist zu sehen, daß sowohl der Feinerdeanteil als auch die organische Substanz in den Krusten höher sind als in dem fast kalkfreien Lapilli. Die konkretionären Kalkschalen im Bandcheninneren haben Kalkgehalte von 40-50 %. Die bandchenartige Kalkanreicherung mit den dünnen, harten Schalen ist nicht konform mit den klassischen Theorien zur Kalkanreicherung und Krustenbildung von GILE et.al. (1966), stimmen aber weitgehend überein mit den Beobachtungen und Hypothesen von ROHDENBURG und SABELBERG (1979).

Aus den Ergebnissen wurde die folgende Hypothese zu der Bildung von Kalkanreicherungsbandchen und Krusten mit Verknüpfung mit anderen Prozessen entwickelt:

1. Der Boden wird regelmäßig befeuchtet, es kommt gelegentlich zum Durchfluß und leicht bewegliche Salze werden ausgewaschen.
2. An Korngrößen- und Dichtediskontinuitäten wird Kalk und Feinmaterial (Ton) angereichert. Kalküberzüge bilden sich auf dem Lapilli.
3. Am Ort der Kalk- und Feinmaterialanreicherung gibt es höhere Wasserspeicherkapazität und diese Lagen werden zum bevorzugten Wurzelraum. Die vertikalen Wurzelgänge, evtl. auch vertikale Schwächezonen, bilden bevorzugte Versickerungsbahnen. In diese Bahnen wird Feinmaterial eingeschwemmt und Kalk angereichert.
4. Höhere Wassergehalte und biologische Aktivität führen zu intensiverer Verwitterung, die wiederum zur Ca-Freisetzung und Tonneubildung führt.
5. Die höhere biologische Aktivität führt zu höheren CO<sub>2</sub>-Gehalten im Bodenwasser. Beim Wasserentzug durch Evapotranspiration kommt es zum Ausscheiden von CaCO<sub>3</sub>, und zwar am intensivsten an der Wurzeloberfläche. Eine Wurzelmatte im Kalkbandcheninneren führt zu der Bildung von den konkretionären Kalkschalen.
6. Mehrere Bandchen können in Oberflächennähe zusammenwachsen und eine durchgehende mächtige Kruste bilden:

Diese Hypothese setzt voraus, daß die Wasserbewegung von oben nach unten stattfindet und daß die Pflanzen bei der Wasseraufnahme nicht in der Lage sind, Ca selektiv aufzunehmen.

Literatur

FUSTER, J.M., S. FERNANDEZ SANTIN und J. SAGREDO (1968): Geologia y Volcanologia de las Islas Canarias, Lanzarote. Instituto "Lucas Mallada" C.S.I.C., Madrid.

GILE, L.H., F.F. PETERSON und R.B. GROSSMAN (1966): Morphological and genetic sequence of carbonate accumulation in desert soils. Soil Science 101, 347-360.

JAHN, R., K. STAHR und Th. GUDMUNDSSON (1983): Bodenentwicklung aus tertiären bis holozänen Vulkaniten im semiariden Klima Lanzarotes (Kanarische Inseln). Zeitschrift für Geomorphologie. Supplement (im Druck).

ROHDENBURG, H. und U. SABELBERG (1979): Kalkkrustentypen im westlichen Mittelmeergebiet (Spanien und Marokko). In Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 5, 25-32. Herausg.: Lehrstuhl f. Physische Geographie und Landschaftsökologie der TU Braunschweig.

WIEDER, M. und D.H. YAALON (1982): Micromorphological fabrics and development stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. Geoderma 28, 203-220.

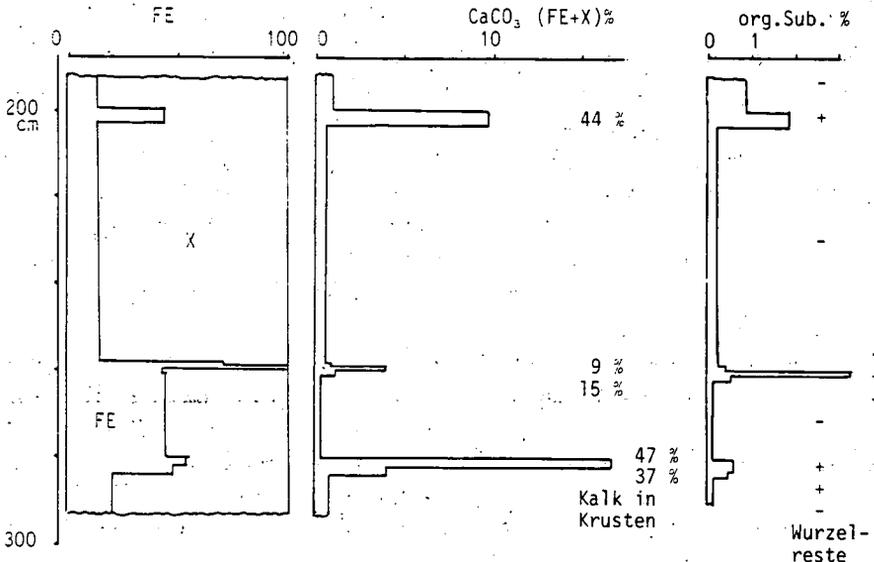


Abb. 1: Feinerdeanteil, Kalkgehalt, org. Substanz und Wurzelreste in einigen Kalkbändchen aus Profil 660, Fläche IV<sub>A</sub>

Zur Veränderung organischer Fraktionen des Bodenphosphors in Wurzelnähe

von

Helal, H.M. und D. Sauerbeck \*

Einleitung

Die Tatsache, daß ein beträchtlicher Teil des Phosphors vieler Böden organisch gebunden ist, ist seit langem bekannt und war während der letzten Jahrzehnte Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Dennoch blieb die Rolle des organischen Bodenphosphors im Hinblick auf seine Natur, seine Umsetzungen, seine Beziehung zu der mikrobiellen Biomasse sowie seine Bedeutung für die Phosphorernährung der Pflanzen bisher weitgehend ungeklärt (Dalal 1977). Dies gilt für den Haushalt organischer Phosphate im Boden generell, vor allem aber im wurzel-nahen Bodenbereich. Da der Bodenphosphor eine niedrige Mobilität aufweist (Nye and Tinker 1977) ist die Pflanze auf die Phosphoranlieferung aus unmittelbarer Wurzelnähe angewiesen. Demnach entscheiden Umsetzungen und Wechselwirkungen in Wurzelnähe zwischen den unterschiedlich "verfügbaren" Fraktionen über die Phosphorversorgung der Pflanze.

Die Untersuchung von Phosphorumsetzungen im Rhizosphärenboden scheiterte zunächst an der Problematik seiner Isolierung (Helal und Sauerbeck 1981 a). Aus diesem Grunde entwickelten die Autoren eine Technik, die es ermöglicht, definierte Bodenzone zu isolieren, die unterschiedlich intensiv durch Pflanzenwurzeln beeinflußt wurden (Helal und Sauerbeck 1981 b). Die vorliegende Arbeit beschreibt Untersuchungen mit Hilfe dieses Verfahrens über die Umwandlung organischer Phosphorfraktionen einer Parabraunerde unter dem Einfluß von Maiswurzeln.

Material und Methoden

Die Bodenmenge eines Versuchsgefäßes (420 g) wird durch vertikal gespannte, engmaschige Netze aus Edelstahl in drei Zonen unterteilt: eine zentrale, 20 mm dicke Zone, die mit 2 Maispflanzen bepflanzt und beiderseits von zwei weiteren, 10 mm dicken Zonen umgeben ist. Die Netze verhindern den Durchbruch

---

\* Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Bundesallee 50, 3300 Braunschweig

der Wurzeln in die mittlere Zone, lassen jedoch Wurzelhaare hindurch. Die äußere Zone wird dagegen weder von Wurzeln noch von Wurzelhaaren erreicht. Weitere methodische Einzelheiten sind bei Helal und Sauerbeck (1981 b) beschrieben. Im Alter von 25 Tagen wurden die Pflanzen abgeschnitten und die Bodenzonen voneinander getrennt.

Neben der Bestimmung der mikrobiellen Biomasse und der Phosphatase-Aktivität in den einzelnen Bodenzonen wurden verschiedene Phosphorfraktionen nach folgenden Methoden untersucht:

Gesamtphosphor (HClO <sub>4</sub> -Auszug)	(Bray and Kurtz 1945)
Organischer Phosphor (NaOH-Auszug)	(Saunders and Williams 1955)
NaHCO <sub>3</sub> -extrahierbarer organischer Phosphor	(Bowman and Cole 1978)
Phospholipid-Phosphor	(Kowalenko and McKercher 1970)
Phytatphosphor	(Cosgrove 1963)
Inosit	(Lornitzo 1968)
Mikrobielle Biomasse	(Jenkinson and Powlson 1976)
Biomasse-Phosphor	(Brookes et al. 1982)
Phosphatase-Aktivität	(Tabatabai and Bremner 1969)

### Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1 zeigt, daß der Gesamtphosphor nur in der unmittelbaren Wurzelzone abgenommen hat. Dieses Ergebnis stimmt mit den Resultaten autoradiographischer Untersuchungen (z. B. Hendriks et al. 1981) gut überein und drückt die niedrige Mobilität des Phosphors aus. Die Tabelle zeigt weiterhin, daß der Phosphorentzug vor allem aus dem anorganischen Anteil stammt. Der organische Phosphor nahm dagegen nur geringfügig ab.

Tab. 1: Phosphorgehalt in Bodenzonen unterschiedlicher Wurzelnähe nach 25tägiger Bepflanzung einer Parabraunerde mit Mais (Angaben in µg P/g Boden)

	Gesamt-P	anorg. P	org. P
Kontrolle (unbepflanzt)	452	317	135
Wurzelzone	400*	273*	127
mittlere Zone	439	309	130
äußere Zone	446	314	132

\* von der Kontrolle signifikant unterschieden

Von den untersuchten organischen Fraktionen (Tabelle 2) sind die Phytate mit ca. einem Viertel des organischen Phosphors die größte Fraktion. Mengenmäßig änderte sich diese Fraktion unter dem Einfluß von Maiswurzeln nicht. Säulenchromatographische Untersuchungen (Tabelle 3) zeigten jedoch, daß die

Phytatfraktion zwei Inosit-haltige Komponenten enthält, die sich in Wurzel-nähe unterschiedlich verändern.

Tab. 2: Organische Phosphorfraktionen einer Parabraunerde in Abhängig-keit von der Nähe zu Maiswurzeln nach 25tägiger Bepflanzung (Angaben in  $\mu\text{g P/g}$  Boden)

	Phytat-P	Phospholipid-P	NaHCO <sub>3</sub> -extr. org. P
Kontrolle (unbepflanzt)	34	1,9	5,4
Wurzelzone	38	4,1**	10,2**
mittlere Zone	33	3,2*	8,3*
äußere Zone	31	2,4	6,8

\*signifikanter bzw. \*\*hochsignifikanter Unterschied zur Kontrolle

Eine Komponente mit einem P : Inosit-Verhältnis von ca. 1,4 nahm in Wurzelnähe zu. Eine weitere Komponente (P : Inosit-Verhältnis ca. 3,1) nahm dagegen in Wurzelnähe leicht ab. Reine Inositphosphate konnten allerdings in beiden Fraktionen nicht nachgewiesen werden. Die Frage bleibt noch offen, ob diese Zu- bzw. Abnahme in Wurzelnähe tatsächlich eine mengenmäßige Veränderung darstellt oder vielmehr nur eine veränderte Extrahierbarkeit widerspiegelt.

Tab. 3: Veränderung von Phytatkomponenten einer Parabraunerde in Abhängigkeit von der Nähe zu Maiswurzeln nach 25tägiger Bepflanzung (Angaben in  $\mu\text{g P/g}$  Boden)

	Komponente 1 P : Inosit = 1,4	Komponente 2 P : Inosit = 3,1
Kontrolle (unbepflanzt)	10,8	17,4
Wurzelzone	15,2*	14,7
mittlere Zone	11,1	17,6
äußere Zone	9,7	16,8

\* signifikanter Unterschied zur Kontrolle

Tabelle 2 zeigt weiterhin, daß Phospholipide sowie die NaHCO<sub>3</sub>-extrahierbare organische P-Fraktion unter dem Einfluß von Pflanzenwurzeln zunehmen. Die Zunahme war sogar noch außerhalb der unmittelbaren Wurzelzone nachzuweisen.

Da die Phosphatase-Aktivität des Bodens generell beträchtlich ist (Tabelle 4) und in Wurzelnähe noch erheblich ansteigt, ist anzunehmen, daß diejenigen Phosphorfraktionen, die in Wurzelnähe zunehmen, entweder durch Bindung im Boden stabilisiert oder in der mikrobiellen Biomasse selbst enthalten sind.

Ein beträchtlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse und des Biomasse-Phosphors in Wurzelnähe läßt eine derartige Beziehung möglich erscheinen.

Tab. 4: Mikrobielle Biomasse, Biomasse-Phosphor und Phosphatase-Aktivität einer Parabraunerde in Abhängigkeit von der Nähe zu Maiswurzeln nach 25tägiger Bepflanzung

	Biomasse-C <sup>1)</sup> µg/g Boden	Biomasse-P <sup>2)</sup> µg/g Boden	C : P (Mol-Verh.)	Phosphatase- Aktivität 10 <sup>-8</sup> Mol/g
Kontr. (unbepfl.)	137	8,3	41	11
Wurzelzone	224**	11,8*	48*	28**
mittlere Zone	185*	11,4*	42	15
äußere Zone	161	9,6	43	16

1) Basierend auf einem Mineralisationskoeffizienten ( $k_c$ ) von 0,41

2) Die nach  $\text{CHCl}_3$ -Behandlung extrahierbare Fraktion ( $k_p$ ) = 0,40

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß sich verschiedene Fraktionen des organischen Bodenphosphors in Wurzelnähe in intensivem Umsatz befinden. Ihre Bedeutung für die Phosphorversorgung der Pflanze läßt sich mit ihrer quantitativen Veränderung allein nicht ausreichend erklären. Vielmehr muß ihre Funktion in ihrer Umsatzrate im Zusammenhang mit den anorganischen Phosphorfraktionen gesucht werden.

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

#### Literatur

- Bowman, R. A. and Cole, C. V. (1978): Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by  $\text{NaHCO}_3$ -extraction. *Soil Sci.* **125**, 49 - 54.
- Bray, R. H. and Kurtz, L. T. (1945): Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* **59**, 39 - 45.
- Brookes, P. C., Powlson, D. S. and Jenkinson, D. S. (1982): Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.* **14**, 319 - 329.
- Cosgrove, D. J. (1963): The chemical nature of soil organic phosphorus. I. Inositol phosphates. *Austr. J. Soil Res.* **1**, 203 - 214.
- Dalal, R. C. (1977): Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.* **29**, 83 - 117.
- Helal, H. M. und Sauerbeck, D. (1981 a): Phosphatumsetzungen im Wurzelraum von Pflanzen. *Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **32**, 295 - 304.
- Helal, H. M. und Sauerbeck, D. (1981 b): Ein Verfahren zur Trennung von Boden-zonen unterschiedlicher Wurzelnähe. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.* **144**, 524 - 527.
- Hendriks, L., Claassen, N. und Jungk, A. (1981): Phosphatverarmung des wurzel-nanen Bodens und Phosphataufnahme von Mais und Raps. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.* **144**, 486 - 499.

- Jenkinson, D. S. and Powelson, D. S. (1976): The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8, 209 - 213.
- Kowalenko, C. G. and McKercher, R. B. (1970): An examination of methods for extraction of soil phospholipids. *Soil Biol. Biochem.* 2, 269 - 273.
- Lornitzo, F. A. (1969): A method for colorimetric assay of inositol and some of its phosphate derivatives. *Anal. Biochem.* 25, 396 - 405.
- Nye, P. H. and Tinker, P. B. (1977): *Solute movement in the soil-root system.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Saunders, W. M. H. and Williams, E. G. (1955): Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6, 254 - 267.
- Tabatabai, M. A. and Bremner, J. M. (1969): Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1, 301 - 307.



Die Auswirkungen des Mikroreliefs auf die Bildung der  
Alkaliböden in Ungarn

von

Pécsi, M.

Der überwiegende Teil der Alkaliböden in Ungarn, bzw. im Mittleren Donaubecken kommt - wie auch in anderen grossflächigen Alkaliböden-Gebieten Europas in den Ausgebieten, bzw. niederen Terrassen vor.

Den Verhältnissen, den physisch-ökologischen Faktoren der Bildung von Alkaliböden widmeten schon seit einem Jahrhundert Pedologen, Agrogeologen, Geographen, Geobotaniker ihre Tätigkeit, und haben schon beinahe alle Faktoren dargelegt.

Die Rolle des Mikroreliefs auf den Wasserhaushalt und auf die Lage der Alkaliböden im Gelände wurde aber - unseres Meinung nach - nicht genügend akzentuiert.

- In der Bildung von Alkaliböden wurde die bestimmende Rolle der im Wasser löslichen Natriumsalze betont. Diese kommen in Ungarn in zwei Erscheinungsformen im Boden vor.

Wo das  $\text{Na}^+$  vor allem in der Form von im Wasser löslichen Salzen vorkommt, bildet sich ein Solontschak- oder Weissalkaliboden. Wo aber das  $\text{Na}^+$  im Boden vorherrschend in adsorbierter Form auftritt, verursacht es die Bildung vom Solonetz- oder Schwarzalkaliboden. In den Alkaliböden Ungarns ist aber auch das gemeinsame Vorkommen der beider Na-Formen häufig /z.B. in den Solontschak-Solonetz-Böden/.

- Unter den wichtigeren Faktoren die die Alkaliböden-Bildung begünstigen, wird eine bedeutende Rolle Trockenperiode

um die Mitte des Sommers beige gemessen.

Während der Vegetationszeit kann die Bodenlösung kapillar bis zur, bzw. in die Nähe der Oberfläche aufsteigen und verdunsten, wobei Alkalisalze zurückbleiben. Der kapillare Aufstieg wird neben dem Wassergehalt des Bodenhorizonts auch durch den Stand, bzw. die jahreszeitliche Schwankung des Grundwasserspiegels bestimmt. Es wurde nachgewiesen, dass in den Gebieten der Grossen Ungarischen Tiefebene - mit einem Grundwasserniveau in mehr als zwei Meter Tiefe - wo die kapillare Aufstiegszone unter der Wurzelzone bleibt, tritt keine Alkalibodenbildung an der Oberfläche auf.

In der Grossen Ungarischen Tiefebene hat das dichte Netz der verlassenen Flussbetten, der verlandete Mäander, der Uferdämme ein spezifisches Mikrorelief mit seichten Senken formiert.

Durch den Erosions-Akkumulationsmechanismus ist eine charakteristische Textur des Mikroreliefs auf dem Auegebiet entstanden, die zugleich automatisch die Sedimentbildung des Auegebietes gelenkt hat. Zusammen mit der Bildung dieser Mikrorelief-Textur sind dementsprechend auch sich räumlich nach dieser Textur richtende lithologische Auegebiet-Fazies entstanden /Abb.1., 2/. Die Bewegung des Grund- und des Oberflächenwassers wurde und wird auch heute vom so entstandenen sog. morpho-lithogenen Faktor auf charakteristischer Weise bestimmt. So besteht unter den morphologischen, lithologischen und hydrogeologischen Faktoren eine sehr enge kausale Wechselwirkung, die letztlich auch die ökologischen Standortgegebenheiten, bzw. die Prozesse der Bodenbildung bestimmt.

Diese von den eingekesselten Depressionen gekennzeichnete

Mikrorelief-Textur gibt eine der Häufigsten physiognomischen Bedingungen der Alkaliboden-Bildung, und zwar nicht nur im Karpatenbecken, sondern auch anderswo in den Auegebieten von grossen Flüssen, die durch trockene Sommer charakterisiert werden können.

- Obwohl der grösste Teil der Alkaliböden Ungarns in der oben geschilderten morphologischen Lage vorkommt, sind auch zur Alkaliboden-Bildung führende Senkenformen zu finden, die eine andere Genetik aufweisen.

In den länglichen, die Windrichtung anzeigenden Senken zwischen den Flugsanddünen sind häufig Alkaliböden vorzutreffen. Auch in den Lössdolinien - den kleineren Karst-Suffosionssenken der Lössgebiete - oder auf der Talsohle von kleineren Flüssen kommt es oft zur Alkaliboden-Bildung.

- Alkaliböden kommen natürlich auch in anderen Hohlformen von verschiedenen Charakteren vor, so z.B. in ebenen Becken, die zwischen den Schwemmkegeln von kleineren und grösseren Flüssen liegen /z.B. in der Umgebung des Neusiedler Sees/.

#### Die Wechselwirkung vom Mikrorelief, Grundwasser und der Lithologie auf die Lage der Alkaliböden

Die zwischen den Uferdämmen liegenden abflusslosen seichten Senken stellen in den meisten Fällen 1--2 m tiefe, negative Formen von kaum wahrnehmbarer Hangneigung dar /Abb.2./ Ihre Oberfläche wird im allgemeinen von schluffig-tonigen Auen-sedimenten bedeckt.

Die Reste von aufgeschütteten Nebenmäandern sondern sich auf dem Auegebiet von ihrer Umgebung mit einer genaueren und kürzeren Hangneigung ab /Abb.2./ Sie sind einige zehn oder hundert m breit, aber winden sich mehrere km lang.

Das am höchsten anstehende Grundwasser ist an der Sohle dieser Kleinformen, an der tiefsten Stelle ihres Querschnittes zu finden. Fallweise kann das Grundwasser saisonal oder ständig an die Oberfläche kommen. An den sanften Hängen dieser Senken, bzw. an den Stufen, die einige dm über der Senkensohle liegen, steht das Grundwasser schon in einer bestimmten Tiefe.

- In den Senken, wo das Grundwasser während langer Zeit der Vegetationsperiode bis zur der Oberfläche aufsteigt, kommt es zur Bildung von Torfmooren, von an moorigen Wiesen-, bzw. in der Tiefe sodahaltigen Wiesenböden. Diese Böden oder ihre Vergesellschaftungen nehmen die zentralen, tiefsten Teil der Senke ein, die sanft ansteigende Randzone der Senke, wo das Grundwasser in einer Tiefe von 0,5--1 m unter der Oberfläche bleibt, wird von immer mehr sodahaltigen Böden umgeben. Unter den Uferdämmen, die örtlich auch breitere Erdzungen bilden können, liegt das Grundwasser während der Vegetationsperiode in einer Tiefe von mehr als 2 Meter. Diese letzteren Formationen bestehen vor allem aus schluffigem Sand, bzw. Sand. In diesen Standorten kommen gewöhnlich Wiesentschernosem, oder in der Tiefe salzhaltigen Wiesentschernosem vor.

Als Mustergelände wurde eine kleinere Zwischenuferdamm-Senke der Puszta von Kiskunság /Kleinkumanien/ in der Aue der Donau, ausgewählt /Abb.1./. Die untersuchten Bodenprofile wurden so ausgewählt, um zugleich genaue Informationen über die Bodentypen der tiefsten Stelle der Senke /Nr.501/, des sanft ansteigenden Hanges /Nr.502,503/, und der höchsten Fläche des Uferdammes/Profil Nr.504/ zu erhalten. Die Niveaudifferenz zwischen dem tiefsten Teil der Senke und dem höchstliegenden Teil des Uferdammes betrug 1,5--2,0 Meter.

An der tiefsten Stelle des Geländes /Nr.501/ könnte man

eine solontschakartigen Wissensolonetz mit tiefliegendem Anreicherunghorizonte. In einer höheren Lage /Nr.5o2, 5o3/ gab es einen solontschakartigen Wiesensolonetz mit mittleren Tiefenlage des Anreicherunghorizontes. An der höchsten Stelle, am Rand des Uferdames /Nr.5o4/ ist ein karbonathaltiger Wiesentschernosem mit geringmächtigen A-Horizont entstanden.

Die Intensität der Alkalibodenbildung wächst also vom tiefstliegenden Alkaliboden /Nr.5o1/ zu den höheren /Nr.5o2, 5o3/ stufenweise an, an der höchstgelegenen Stelle ist aber kein Alkaliboden, sondern ein Wiesentschernosem entstanden.

Die Studie will die Lenkungsrolle des Reliefs in der räumlichen Verbreitzng der Alkaliböden und in der Konstellation der zur Bodenbildung führenden Bedingungen unterstreichen. Vor allem übt die Mikrorelief-Textur des Auegebietes - Uferdämme und dazwischenliegende Senken, aufgeschüttete Mäander usw. - eine bestimmende Wirkung auf die Bewegung des Oberflächen- und des Grundwassers, auf die Bildung der Auesedimente. Diese Weise entstand und besteht eine sehr enge Wechselwirkung zwischen den geomorphologischen, lithologischen und hydrogeologischen Faktoren. All das bestimmt letzten Endes die ökologischen Standortgegebenheiten, d.h. auch die Bodenbildungsprozesse.

Die auf dem Mustergelände analysierten Alkaliböden wiesen einen engen und kausalen Zusammenhang mit dem Mikrorelief auf.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Proceeding of the Symposium on Sodaic Soils. Budapest, 1964.  
Akadémiai Kiadó Budapest 1965 p.48c.  
SZABOLCS, I./Ed./ 1971 European Solonetz Soils and Reclamation.  
Akadémiai Kiadó, Budapest p.2o4.

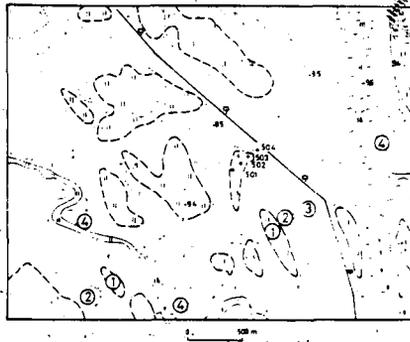


Abb. 1. Verbreitung der Alkaliböden zwischen der Uferdämme in der Donauaue.

1-Solontschakartiges Wiesensolonetz; 2-Solontschakartiges Wiesensolonetz mit mittlerer Tiefenlage des Anreicherungs-horizontes; 3-Wiesenschernosem am Rande des Uferdammes; 4-Uferdämme der Donauenebnärme, 95 m ü.d.M.

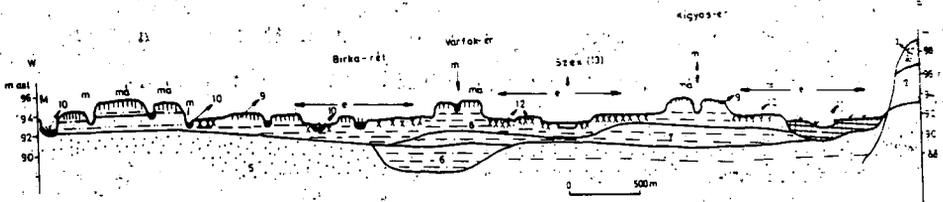


Abb.2. Querschnitt des Mikroreliefs der Donauaue in der Grossen Ungarischen Tiefebene.

1-Fluvialer Sand /Q<sub>3</sub>/; 2-Sandiger Löss /Q<sub>3</sub>/; 3-Flugsand /H<sub>1</sub>/; 4-5 - fluvialer Sand, schluffiger Sand /H/; 6-7 - schluffiger Sand; sandiger Schluff/H/; 8-fluvialer Auelöss, sandiger Auelöss; 9-Wiesenschernozem; 10-Wiesenboden, an-moriger Wiesenboden; 11-Torfmooren; 12-Alkaliböden; 13-Ephemere Sodateiche; M-aufgeschüttete Meander; m-aufgeschüt-tete Parameander; má- Uferdämme; e-zwischen den Uferdämmen liegenden abflusslosen seichten-Senkungen.

Das Projekt "Internationale Referenzbasis  
für Bodenklassifikation (IRB)"

von

Schlichting, E. <sup>x</sup>

Die Bodenkunde unterscheidet sich von vielen anderen Disziplinen durch eine mangelnde internationale Übereinkunft über die Klassifizierung ihrer Objekte. Das ist zwar aus ihrer Geschichte verständlich, aber mit dem Stande der Wissenschaft nicht mehr zu rechtfertigen und angesichts der globale Kommunikation erfordernden weltweiten Aufgaben der Bodenkunde auch nicht länger zu verantworten. Daher haben Vertreter von FAO, IBG, UNEP und UNESCO auf zwei Sitzungen in Sofia (s. IBG-Bull. 57. 19-20; 59, 9-11) über die Entwicklung einer Referenzbasis beraten, die eine Korrelation zwischen den nationalen Klassifikationssystemen ermöglicht. Auf diese Anregungen hin hat die IBG-Kommission V eine Arbeitsgruppe IRB eingerichtet und dem Autor die Federführung übertragen. Über den bisher erreichten Konsens und einige noch offene Probleme ist hier zu berichten.

1. Zweck und Objekte der Klassifikation

Übereinstimmung besteht, daß das System als Rahmen für die Ordnung des Wissens über Böden und als Hilfsmittel für deren Charakterisierung und Identifizierung sowie für den Transfer von Informationen über ihre Verteilung und ihre Eigenschaften als Pflanzenstandorte, Filterkörper usw. dienen und damit wissenschaftliche und praktische Zwecke gleichermaßen berücksichtigen soll. (Diese Aufgaben sind nicht zu verwechseln mit denen der Bodengenetik, Hypothesen über bodenbildende Prozesse aufzustellen und zu prüfen, oder der Bodenkartierung, Kartiereinheiten zu lokalisieren und in einer räumlichen Hierarchie zu ordnen.) - Probleme bestehen noch hinsichtlich der zu klassifizierenden Segmente der Bodendecke:

1.1 Die Tiefe sollte der vertikalen Reichweite aller Bodenmerkmale entsprechen. Eine willkürliche Begrenzung wird oft mit technischer Ausrüstung (z. B. Bohrerlänge) oder praktischem Zweck (z. B. Wurzeltiefgang) "begründet". Beide können sich jedoch ändern. Überdies wird riskiert, wichtige Merkmale zu vernachlässigen (z. B. muß ein stark entwickelter Acrisol mit Tonmaximum > 1.5 m als Nito-

sol klassifiziert werden, was kaum sinnvoll ist). Andererseits kann die Ausdehnung auf sehr tiefe "Unterböden" eine Grenzüberschreitung zur Petrographie bedeuten.

1.2 Das Areal sollte der horizontalen Reichweite einer spezifischen Kombination von Bodenmerkmalen entsprechen. Es ist nur bei transformations- oder vertikaltranslokationsbedingten Merkmalen auf ein Profil beschränkbar und wurde daher auf das Pedon ausgedehnt, um auch regelmäßige räumliche Variationen dieser Prozesse zu erfassen (einschl. Turbationen). Es gibt aber auch laterale Bewegungen; und es ist kaum einsichtig, wenn durch Intrapedon-, aber nicht durch Interpedon-Translokationen geprägte Muster berücksichtigt werden. Andererseits kann die Ausdehnung über das Polypedon hinaus eine Grenzüberschreitung zur Bodenkartographie bedeuten.

## 2. Prinzipien der Klassifikation

Übereinstimmung besteht, daß das System die Böden nach Merkmalen gruppieren soll, die die Bodenentwicklung reflektieren und eng mit anderen zu korrelieren sind, da dies eine umfassende Charakterisierung durch wenige diagnostische Merkmale erlaubt. Es soll kein Zentralkonzept-, sondern ein Grenzdefinitions-System mit quantitativen Angaben sein, da dies Subjektivität weitgehend ausschließt. Es bestehen aber noch Probleme.

### 2.1 Art der diagnostischen Merkmale

Potentiell reflektieren alle Merkmale die Bodenentwicklung, nicht nur die traditionell als pedogene Merkmale angesehenen metastabilen sekundären Feststoffe. Daher wurden auch die unter geänderter Umwelt (einschl. Bewirtschaftung) nicht mehr formbaren, sondern stabilen, also relikten Merkmale berücksichtigt (zu ihnen gehören auf älteren Landoberflächen und in Kulturböden mehr pedogene Merkmale als allgemein angenommen - ihre weitergehende Benutzung selbst nach Translokation der Böden kann aber eine Grenzüberschreitung zur Geologie bedeuten). Das gilt in weit geringerem Maße für die sich reversibel ändernden labilen Zustände, wie das Bodengefüge.

Relativ wenig berücksichtigt werden bisher auch die anthropogenen Merkmale, obschon sie im weiteren Sinne auch pedogen sind und sich Kulturböden nach Bearbeitung, Düngung, Ent- oder Bewässerung, Ab-

trag von Boden- oder Auftrag von Fremdmaterial von ihren Vorgängern beträchtlich unterscheiden können, bes. in ihrem Verhalten.

Es besteht auch eine Reserve gegenüber den lithogenen Merkmalen, ob- schon diese noch stabilen Primärstoffe die Bodenentwicklung bis zu deren Beginn reflektieren und das Verhalten von Böden (z.B. Translokationen, Nährstoffvorräte) bes. auf jungen Landoberflächen unter recht verschiedenen Klimaten bestimmen.

Noch größer ist diese Reserve gegenüber den atmogenen Merkmalen, ob- schon diese labilen Zustände von Bodenlösung oder -luft einschl. des Energiestatus' aller die rezente Bodenentwicklung reflektieren und das Verhalten von Böden (z.B. Umsatz organischer Substanz mit Nährstoffanlieferung) bes. unter extremen Klimaten bei recht verschiedenen Ausgangsgesteinen bestimmen. Andererseits kann die Berücksichtigung sehr labiler oder nur bodenbürtiger Merkmale (z.B. Oberflächentemperatur) eine Grenzüberschreitung zur Meteorologie bedeuten.

Anders als die lithogenen Stoffe werden die atmogenen Zustände aber oft nicht einmal als Bodenmerkmale angesehen. Dabei sind die Gehalte an (gesteinsbürtigem) Quarzsand und an (sonnenbürtiger) Energie gleichermaßen Ergebnisse der Bodenbildung und wird ihr Einfluß auf andere Merkmale gleichermaßen durch diese modifiziert (so daß z.B. bestimmte Bodenarten oder -temperaturen resultieren). Hauptargument gegen die Berücksichtigung atmogener Merkmale ist die Schwierigkeit ihrer Ermittlung ohne Langfrist-Feldmessungen. Es ist aber zu bedenken, daß die Identifizierung eines Bodens eine wissenschaftliche Aufgabe ist (und auch die Identifizierung einer Pflanze kann Jahre dauern), daß auch die Analyse mancher pedogener Merkmale (z.B. des Palygorskit-Gehaltes) aufwendig ist und daß man nach geeigneten Substituten suchen kann (z.B. saisonale Unterschiede in Art und Verteilung der organischen Substanz, Eislinnen, Krusten). Aber selbst diese sind bei den üblichen pedogenen Merkmalen unterrepräsentiert (z.B. betreffen von den diagnostischen Horizonten und Merkmalen im FAO-UNESCO-System 65 % ganz oder überwiegend Mineralstoffe und nur 20 bzw. 15 % Humusstoffe bzw. das Gefüge). Solche Substitute könnten auch bei einigen pedogenen Merkmalen benutzt werden, wenn sie leichter ermittelbar sind oder bessere Aussagen über die Böden erlauben (z.B. P-Fixierung in oxic horizons).

## 2.2 Gewichtung der Merkmale

Die Merkmale sollten so berücksichtigt werden, daß der Klassifizierungszweck optimal erfüllt wird. Infolge der unterschiedlichen Kombination von Merkmalen in verschiedenen Intensitäten und angesichts der Notwendigkeit, keine Zweifelsfälle (allerdings auch keine "Freiheit") zu lassen, ist eine fixierte Abfolge, ein "Schlüssel" nötig. Das verursacht kaum Probleme innerhalb einer Kategorie, wenn alle Merkmale bei einer bestimmten Gestein x Umwelt-Kombination harmonisch

entwickelt wurden. Im Falle von Klima- oder Bewirtschaftungs-Wechseln ist dagegen zu entscheiden, ob Böden primär als

- a) erdgeschichtliche Urkunden, in welchem Falle die lithogenen und relikten pedogenen Merkmale wichtiger wären, oder als
- b) aktive Ökosystemkomponenten, wo dieses auf atmogene und rezente pedogene Merkmale zuträfe, anzusehen sind bzw. mehr als
- α) Naturkörper, was zu einer Präferenz der eben erwähnten Merkmale führte, oder als
- β) Menschenwerke, in welchem Falle dies für die anthropogenen Merkmale gälte.

Diese Alternativen betreffen das Wesen von Böden (und damit das wissenschaftliche Ziel der Klassifikation) sowie ihre Funktion (und damit die praktische Anwendung) und sind qualitativer Natur. Hier ist also über ein Primat zu entscheiden.

### 2.3 Quantifizierung der Merkmale

Wenn gilt, daß in allen Böden alle bodenbildenden Prozesse ablaufen und mithin alle Bodenmerkmale vorkommen, nur eben in unterschiedlicher Intensität bzw. Quantität, läßt sich das in und zwischen den Kategorien immer wieder auftretende Primatproblem durch eine objektive Quantifizierung der relevanten Merkmale entschärfen. Diese Quantitäten können angegeben werden als

1. Konzentrationen (z.B. % Feinton) bzw. - was noch kaum üblich ist - den Produkt(summen)en aus ersteren und den Horizontmassen ( $\text{dm} \times \text{kg/l}$ ), also den Mengen (z.B.  $\text{kg Feinton/m}^2$ ) im Boden, welche letztere die angemessenen Einheiten für ein System wären, das Böden primär als Umwandlungsformen von Gesteinen ansieht (vgl. 2.2a), und als
2. Tiefenlagen, die gleichermaßen bedeutsam wären für ein Böden mehr als Organismenstandorte betrachtendes System (vgl. 2.2b) oder durch
3. Quotienten "Mengen:Tiefe", was unüblich ist, aber beide Aspekte verknüpfen würde.

Die Quantitäten sollten nach in der Natur auftretenden Diskontinuitäten gestuft werden, und zwar in einer derjenigen der im System vorgesehenen Kategorien entsprechenden Zahl (wie bei dem cambic horizon und cambic material in der zweistufigen FAO-UNESCO-Legende). Andernfalls wäre das System nicht wirklich quantitativ und würde sich die Frage nach dem Primat immer wieder stellen (s.o.).

### 3. Struktur der Klassifikation

Obereinstimmung besteht, daß das System eine subsequente Unterteilung der Bodengruppen nach den in 2. erläuterten Prinzipien erlauben sollte, um die Informationen bedarfsgerecht dosieren zu können. Bisher wurden nach den qualitativen Kriterien

Bodenmerkmale reflektieren

- |               |                     |   |   |   |                      |
|---------------|---------------------|---|---|---|----------------------|
| 1. Kategorie: | Hauptwege           |   |   |   | der Bodenentwicklung |
| 2. "          | : Neben "           | " | " | " | "                    |
| 3. "          | : Obergänge         | " | " | " | "                    |
| 4. "          | : rezente Steuerung | " | " | " | "                    |

vier Kategorien behandelt und die in der Tabelle skizzierten Vorschläge diskutiert.

### 4. Nomenklatur

Obereinstimmung besteht, daß diese so international wie möglich und so national wie nötig sein sollte.

### 5. Praktisches Vorgehen

Nach Entscheidung prinzipieller Fragen sollten weiter die diagnostischen Merkmale für bestimmte Bodengruppen ausgewählt und für die verschiedenen Kategorien quantifiziert und dann die Einheiten in ihnen geordnet werden. Dies soll nach Bewilligung der bei UNEP beantragten Mittel in etwa 8 Komitees geschehen (s. IBG-Bull.61, 42) und bedarf der Mitwirkung sachkundiger Bodenkundler aus aller Welt, wenn auf dem IBG-Kongress in Hamburg 1986 über eine akzeptable IRB berichtet werden soll.

IRB-Vorschläge für die Bodenklassifikation auf verschiedenen Niveaus

1.	2.	vorläufiger Name	FAO Äquivalent	3.
1. flach schwach entwickelt	a. hartem Gestein	Lithosole	=	
	a. grobem Gestein	Arenosole	=	
	a. mittl. Gestein	Regosole	= (mittlere)	
	a. alluv. Gestein	Fluvisole	= (meiste)	
2. quellend/ schrumpfend	tonig, niedr. kf	Vertisole	=	
	" " "	Pelosole	=	
3. Stauwasser	+albic	Pseudogleye		
	"	Stagnogleye, Planosole	=	
4. Grundwasser		Gleye	=	
	+thionic	Thiosole	thionic Fluvi	
5. salin und/oder alkalisch		Solonchaks	=	
		Solonetze	=	
6. arid	calcic	Calcisole	Xero	
	gypsic	Gypsisole	Yermo	
7. mollic (Humus, gesättigt	+Ca-Umverteilung	Kastanozeme	=	
	"	Chernozeme	=	
	-Ca-Umverteilung	Greyzeme	=	
	"	Phaeozeme	=	
	"	Rendzinen	=	
8. umbric (Humus, ungesättigt	+cambic	Ranker	=	
		Umbrisole	humic Cambi	
9. sialic (KAK>24, Fe <sub>d</sub> < 4)	+argillic	Cambisole	=, meiste	
		Luvisola	=, " Podzoluvi, Acri	
10. fersialic (KAK>24, Fe <sub>d</sub> >10)	+argillic	} Chromosole	chromic Cambi	
			" Luvi	
11. ferralic (KAK<24)	+argillic	Ferralsole	=	
	"	Nitosole	=	
	"	Ferluvisole	ferric Luvi	
	"	Feracrisole	" Acri	
12. andic		Andosole	=	
13. FeAl/Humus-B		Podsole	=	
14. organisch		Histosole	=	
15. Permafrost		Gelisole	gelic Gruppen	
16. anthropogen		Anthroposole		

**Bedeutung nützlicher Silizium-Effekte für intensiv angebaute  
landwirtschaftliche Kulturpflanzen**

Schnug, E.<sup>+</sup> und E. v. Franck<sup>++</sup>

Einleitung

Das Element Silizium (Si), das fast 28 % der Lithosphäre ausmacht und in allen Pflanzen vorkommt, beschäftigt seit den Anfängen der Mineralstoff-Theorie vor mehr als 100 Jahren die Agrikulturchemiker. Nach gängiger Lehrmeinung gilt Si lediglich für Diatomeen und einige andere niedere Pflanzen als lebensnotwendiges Nährelement, für höhere Pflanzen dagegen nur als nützlich (LEWIN und REIMANN, 1969; FIDANOVSKI, 1968; JONES und HANDRECK, 1967; OKUDA und TAKAHASHI, 1965). In den letzten Jahren wird Si von einigen Autoren auch für höhere Pflanzen wie Reis, Zuckerrohr und Tomaten als lebensnotwendig angesehen, bzw. interpretieren einige Autoren (z.B. MIYAKE und TAKAHASHI, 1978) ihre Ergebnisse als Beleg für diese Hypothese.

Da die Si-Versorgung auch bei hiesigen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ein Minimumfaktor sein könnte, wurden in den letzten Jahren wiederholt praxisorientierte Düngungsversuche durchgeführt. Gelegentlich wurden dabei mit Si-haltigen Blatt- und Bodendüngern Mehrerträge erzielt, ohne daß jedoch die kausalen Zusammenhänge geklärt werden konnten (NIEPENBERG, 1982; LWK, 1979 - 1982; FINGER, 1968; GROSSE-BRAUCKMANN, 1956; LEMMERMANN und WIESSMANN, 1925).

In diesem Beitrag sollen zunächst die bisherigen Ergebnisse zum Thema Si-Wirkung zusammengestellt werden, um daraus Schlußfolgerungen über die Notwendigkeit oder Nützlichkeit des Si für hiesige landwirtschaftliche Kulturpflanzen zu ziehen.

Siliziumversorgung von Böden und Pflanzen

In der Bodenlösung liegt Si fast vollständig als molekulare Monokieselsäure vor, ist also praktisch nicht dissoziiert (JONES und HANDRECK, 1967). Die Si-Konzentration in Bodenlösungen wird vorwiegend durch pH-abhängige Sorption an Sesquioxiden bestimmt und kann maximal etwa 60 ppm erreichen. Die Menge an amorphen Sesquioxiden hat dabei einen größeren Einfluß auf die Si-Löslichkeit als der pH-Wert (JONES und HANDRECK, 1967).

---

<sup>+</sup> Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Olshausenstraße 40, 2300 Kiel 1

<sup>++</sup> Landwirtschaftliche Forschung Hanninghof der Ruhr-Stickstoff AG, Versuchsgruppe Kiel, Esmarchstraße 66, 2300 Kiel 1

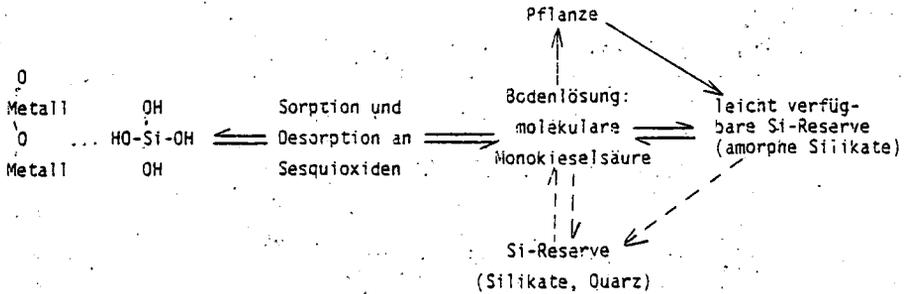


Abb. 1: Fraktionen und Dynamik der Kieselsäure im Boden (schematisch)

Bei der Aufnahme des Si aus dem Boden lassen sich drei Gruppen von Pflanzen mit unterschiedlicher Si-Aufnahmeleistung unterscheiden (CHENG, 1982; TAKAHASHI und MIYAKE, 1977):

geringe Si-Gehalte (ca. 0,5 - 1,0 o/oo Si) finden sich in der Trockensubstanz oberirdischer Pflanzenteile von Dicotyledonen, mittlere Si-Gehalte (ca. 5 - 15 o/oo Si) weisen Gramineen auf, wohingegen hohe Gehalte (50 - 100 o/oo Si) im Reis anzutreffen sind.

Diese Unterschiede sind auf den jeweiligen Mechanismus der Si-Aufnahme zurückzuführen:

Bei den meisten Gramineen erfolgt die Aufnahme passiv und unbehindert, so daß die aufgenommene Si-Menge dem Produkt aus Si-Gehalt der Bodenlösung und der transpirierten Wassermenge entspricht (JONES und HANDRECK, 1967). Eine solche unbehinderte, passive Si-Aufnahme kann jedoch bei den Pflanzen mit niedrigen Si-Gehalten nicht vorliegen. Diese Pflanzen verfügen über einen Mechanismus zum Ausschluß von Si. Das geschieht stoffwechselenergieabhängig in der Wurzel, wo folgerichtig erheblich höhere Si-Gehalte anzutreffen sind als im Sproß. Reis nimmt Si dagegen in wesentlich größeren Mengen auf, als es der Si-Konzentration des Bodenwassers und der Transpiration nach zu erwarten wäre. Diese Si-Anreicherung ist ebenfalls auf stoffwechselenergieverbrauchende Prozesse zurückzuführen (TAKAHASHI und MIYAKE, 1977).

Alle Faktoren, die den Transpirationskoeffizienten verändern - wie z.B. Nährstoffmangel, hohe Salzgehalte oder Klimaeinflüsse - beeinflussen die Si-Anreicherung im Sproß, sogar bei Reis, der Si zwar aktiv aufnimmt, wo die Verlagerung in den und im Sproß jedoch durch den Transpirationsstrom entscheidend beeinflusst wird (CHENG, 1982; JONES und HANDRECK, 1967).

Das als undissoziierte Monokieselsäure aufgenommene Si bleibt auch in der Pflanze vorwiegend Monokieselsäure und wird mit dem Transpirationsstrom bevorzugt zu den Stellen höchster Transpiration transportiert. Folgerichtig findet man die höchsten Si-Gehalte in den oberen Sproßteilen (Abb. 2), vor allem in den Epidermiszellen. Alte Pflanzenteile enthalten mehr Si als junge.

Der bei anderen Nährelementen, wie vor allem bei Stickstoff und Schwefel, auftretende Verdünnungseffekt ist bei Si nicht festzustellen (Abb. 3).

#### Mögliche Ursachen der Wirkung Si-haltiger Düngung auf den Ertrag von Kulturpflanzen

Si wird bei der Ablagerung fest in die Zellwand eingebaut und bildet teilweise zwischen Zellwand und Kutikula eine dünne Kieselsäureschicht aus. Dieser Cutin-

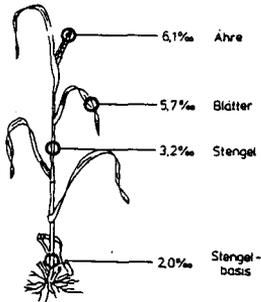


Abb. 2: Si-Gehalte verschiedener Organe von Winter-Weizenpflanzen (Disponent) zu Beginn des Ährnschiebens (Mittelwerte von 100 Pflanzen eines Feldes auf Braunerde, sL, pH 6,4)

Kieselsäure-Doppelschicht kommt nach YOSHIDA und Mitarbeitern (1969) eine besondere Funktion bei der Erhöhung der Toleranz dieser Pflanzen gegen pilzliche und tierische Schadorganismen und bei der Senkung der Transpiration zu.

Positive Effekte des Si in Pflanzen sind daher in erster Linie physikalisch-mechanischer Natur und können Ertragserhöhungen nach Düngung mit Si-haltigen Düngern erklären.

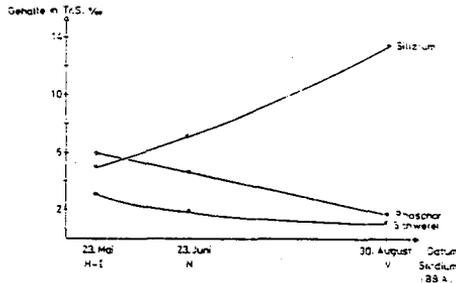


Abb. 3: Silizium, Phosphor- und Schwefelgehalte in der vegetativen Masse von Winter-Weizen (VUKA) im Verlauf der Vegetationszeit (Braunerde, sL, pH 6,0, Versuch aus 1981)

Die gelegentlich vermutete zusätzliche Halmstabilität von Getreide durch Si-haltige Düngung (FIDANOVSKI, 1968 u. 1969) konnte bisher nicht bewiesen werden. Trotz erhöhter Si-Gehalte in den Pflanzen konnten ZEID und KUHN (1971) mit Hilfe eines speziell konstruierten Halmbiegers keine erhöhte Halmstabilität bei Getreide feststellen. Diese zusätzliche stabilisierende Wirkung ist ohnehin fraglich, da gerade das unterste Internodium, auf das es bei der Halmstabilität ankommt, die niedrigsten Si-Gehalte aufweist (vergl. Abb. 2) und am geringsten auf eine Si-Düngung reagiert (ZEID und KUHN, 1971).

Neben diesen positiven mechanischen Wirkungen der durch Si verfestigten Pflanzenteile wurde auch nach anderen nützlichen Si-Wirkungen gesucht. Dabei liegt noch heute ein besonderes Augenmerk auf der Si-P-Wechselwirkung (SCHEFFER u.a., 1982 u. 1980; HEYN, 1982; SCHEFFER, 1977; WILDHAGEN, 1975). Nachdem vor fast 90 Jahren von Versuchen der Rothamsted-Experimental-Station berichtet wurde, daß lösliche Silikate vor allem auf P-armen Standorten die P-Versorgung und somit die Erträge von Pflanzen verbesserten, wurde zunächst eine Verdrängung von Phosphationen von Austauschern durch Silikationen vermutet. Diese Reaktion erscheint auf vielen Böden jedoch sehr unwahrscheinlich, da Si in der Bodenlösung bei pH-Werten unter 9 kaum und unter pH 6,5 überhaupt nicht als Silikation, sondern als Monokieselsäure vorliegt (SCHWERTMANN, 1982). Während Si im Boden vorwiegend als Säure reagiert, reagiert Phosphat als Base, beide konkurrieren nicht um gleiche

Austauscherplätze. Zwar können basisch wirkende Silikate auf sauren Böden unter pH 7 die Phosphat-Verfügbarkeit erhöhen, dann handelt es sich jedoch nicht um eine Si-, sondern um eine Kalkwirkung. Lediglich auf neutralen oder alkalischen Böden ist eine Verdrängung sorptiv gebundener Phosphationen von Austauschern durch Silikationen in geringem Umfang möglich (SCHEFFER u.a. 1982 u. 1980). In der Pflanze selbst ist eine deutliche Wechselwirkung zwischen P und Si bisher nicht festgestellt worden (GANSSMANN, 1961). Auch ein funktioneller Einsatz von P durch Si kommt nicht in Betracht. Dagegen sind Wechselwirkungen zwischen Si und Mn sowie Fe bekannt, die sehr wohl einen Teil der positiven Si-Wirkung auf den Ertrag von Getreide und vor allem Reis und Zuckerrohr erklären können (HORST, 1976; OKUDA und TAKAHASHI, 1965; WILLIAMS und VLAMIS, 1957). Si kann durch eine gleichmäßigere Mn-Verteilung im Gewebe eine höhere Toleranz gegenüber Mn-Toxizität bewirken. HORST und MARSCHNER (1978) konnten beispielsweise die Mn-Toxizitätsgrenze von Buschbohnen durch die Zugabe von Si und 100 ppm auf 1000 ppm steigern. Der Mechanismus dieser Reaktion ist allerdings noch ungeklärt.

Mn-Toxizität und allgemeine Säureschäden sowie Fe- und Al-Oberschuß sind bei Reis und Zuckerrohr selten. Sie können vor allem durch basische Silikate verringert oder vermieden werden (GASCHO, 1977; OKUDA und TAKAHASHI, 1965). Es drängt sich die Vermutung auf, daß es sich bei den in einigen Arbeiten als typische Si-mangelsymptome beschriebenen Schäden um Säureschäden, Al-, Fe- und Mn-Toxizität handelt, die die gleichen Symptome hervorrufen.

Von den als nützlich bekannten Si-Wirkungen (Tab. 1) kommen somit für eine intensive Landwirtschaft im Nordeuropäischen Raum nur zwei als Ursache für Mehrerträge in Frage:

Eine durch Si-Düngung leicht gesteigerte Verkieselung von Epidermis-Zellwänden zum Schutz vor pilzlichen und tierischen Schaderregern dürfte nur dort Vorteile bringen, wo effektive Fungizide und Insektizide kaum oder gar nicht eingesetzt werden. Das ist jedoch nur selten und nur bei wenigen Kulturen der Fall.

Als weiterer nützlicher Si-Effekt könnte vor allem der Verdunstungsschutz durch starke Si-Einlagerungen in den Zellwänden von Epidermiszellen von Bedeutung sein. Besonders auf sandigen Böden mit gelegentlichem Wassermangel sind dadurch Mehrerträge erzielbar (FINGER, 1968).

Diese positiven Si-Effekte sind jedoch vorwiegend mechanischer Natur und nur möglich, wenn es über eine Bodendüngung zu einer stärkeren Si-Anreicherung in den Pflanzen kommt. Wie eine Blattapplikation mit äußerst geringen Si-Mengen unter diesen Umständen nützlich und ertragsfördernd wirken kann, bleibt schwer erklärbar. Durch gängige Blattbehandlung mit 2 l/ha Wasserglas werden etwa 300 g/ha Si ausgebracht. Das sind bei Getreide nur 0,5 % des Gesamtentzuges von etwa 60 kg/ha. Hinzu kommt, daß die Si-Verlagerung passiv mit dem Transpirationsstrom erfolgt, so daß die Si-Aufnahme über das Blatt durch Diffusion gegen den Transpirationsstrom nur schwer vorstellbar ist. Daß außen an der Pflanze haftende Si-Partikel die oben beschriebenen nützlichen Effekte haben, ist ebenfalls äußerst zweifelhaft, es sei denn, sie besitzen einen synergistischen Einfluß auf Pflanzenschutzmittel.

#### Zusammenfassung:

Dikotyle Pflanzen schließen Si teilweise von der Aufnahme aus und enthalten nur 0,05 - 0,1 % Si. Die meisten Gramineen nehmen Si passiv auf und enthalten etwa 1 %, während Reis infolge aktiver Aufnahme Si-Gehalte von 5 - 10 % aufweist. Hohe Si-Gehalte erhöhen die Toleranz von Pflanzen gegenüber tierischen und pilzlichen Erregern sowie gegen Wassermangel. Halmstabilisierende Wirkungen und höhere Lichtausbeute infolge eines erectophilen Habitus konnten nicht nachgewiesen werden. Eine verbesserte P-Versorgung durch Si-Dünger ist in erster Linie auf ihre basische Wirkung und nicht auf das Si zurückzuführen. In einer Landwirtschaft mit intensiver Düngung und Pflanzenschutz bleiben somit nur wenige Möglichkeiten, durch nützliche Si-Effekte Erträge zu steigern, vor allem dann, wenn Si als Blattdüngung ausgebracht wird.

Tab. 1: Übersicht nützlicher Si-Effekte

Si-Effekt	Anmerkung
<u>physikalische:</u>	
erhöhte Toleranz gegenüber Schaderregern	nur bei suboptimalem Einsatz von Fungiziden und Insektiziden von Bedeutung
verringerte Transpiration	nur bei Wassermangel von Bedeutung
bessere Luftversorgung von Reiswurzeln durch stabile Luftkanäle	
bessere Lichtausbeute durch erectophilen Habitus	nicht nachgewiesen
höhere Halmstabilität	nicht nachgewiesen
<u>chemische:</u>	
bessere P-Verfügbarkeit	vorwiegend pH-Effekte basischer Silikate
verringerte Al-Verfügbarkeit durch sorptive Bindung	
verringerte Fe- und Mn-Aufnahme	bei Reis durch höheres Oxidationspotential der Wurzeln
<u>physiologische:</u>	
höhere Toleranz gegenüber Mn-Toxizität	

Literatur

Cheng, B.T.: Some significant functions of silicon to higher plants. Plant Nutr. 5, 1345-1353, 1982

Fidanovski, F.: Silizium, ein nützliches Element für Pflanzen Pflanzenernähr. Bodenk. 120, 191-207, 1968

Fidanovski, F.: Der Einfluß von Silizium auf Pflanzen. Diss., Berlin 1969.

Finger, H.: Hüttenkalk auf Heidepodsol. Bauernblatt für Schles.-Holstein. 16, 1458-1462, 1968.

Ganssmann, W.: Über die Siliziumbestimmung in Pflanzen und die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen bei Siliziumdüngung. Diss., Gießen 1961.

Gascho, G.J.: Silica status of Florida sugarcane. Proc., Soil and Crop Sci. Soc. of Florida 36, 188-191, 1977.

Grosse-Brauckmann, E.: Die Kieselsäureaufnahme von Getreide unter dem Einfluß von Stickstoff, Kalk und Phosphorsäure. Landw. Forsch. 9, 196-203, 1956.

Heyn, J.: Ergebnisse eines Gefäßversuches zu Fragen der Pflanzenverfügbarkeit des Bodenphosphates nach Kalk- und Silikatzugabe. Vorträge zum 125-jährigen Bestehen der LUFA Kassel. S. 141-164, Kassel 1982

- Horst, W.: Einfluß von Silizium auf die Mangan-Toleranz von Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris* L.)  
Diss. Techn. Univ., Fachbereich 15, Berlin 1976
- Horst, W.J. und Marschner, M.: Symptome von Mangan-Überschuß bei Bohnen (*Phaseolus vulgaris* L.)  
Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 141, 129-142, 1978
- Jones, L.H.P. und Handreck, K.A.: Silicia in soils, plants and animals. Adv. Agron. 19, 107-149, 1967.
- Kaufmann, P.B., Dayanandan, P., Takeoka, Y., Bigelow, W.C., Jones, J.P. und Iler, R.: Silicia in shoots of higher plants. In: Simpson, T.L. und Volcani, B.E. (Hrsg.): Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems. S. 409-449. Springer Verlag, New York, 1981.
- Lemmermann, O. und Wießmann, H.: Untersuchungen über die Ursache der ertragssteigernden Wirkung der Kieselsäure. Z. Pflanzenernähr. Düngg. Bodenkd. A, 256-315, 1925.
- Lewin, J. und Reimann, B.E.F.: Silicon and plant growth. A Rev. Pl. Phys. 20, 289-304, 1969.
- LWK: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Hrsg.): Versuchsergebnisse 1979, 1980, 1981, 1982, Kiel
- Miyake, Y. und Takahashi, E.: Silicon deficiency of tomato plant. Soil Sci. Plant Nutr. 24, 175-189, 1978.
- Niepenberg, K.-A.: Höhere Getreideerträge durch Silikate? top agrar. 10, 38-39, 1982.
- Okuda, A. und Takahashi, E.: The role of silicon. In: JRRJ (Hrsg.): The Mineral Nutrition of the Rice Plant. S. 123-146. Johns Hopkins Press, Baltimore, 1965.
- Scheffer, K.: Der Einfluß von Kieselsäure auf die Mobilität verschiedener Phosphatdünger auf kalkhaltigem Boden: Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 25, 321-332, 1977.
- Scheffer, K.; Schreiber, A. und Kickhuth, R.: Die sorptive Bindung von Düngersphosphat im Boden und die phosphatmobilisierende Wirkung der Kieselsäure.  
1. Mitteilung: Die sorptive Bindung von Phosphat im Boden. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., 24, 799-814, 1980.  
2. Mitteilung: Die phosphatmobilisierende Wirkung der Kieselsäure. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkd. 26, 143-152, 1982.
- Schwertmann, U.: Oxide und Hydroxide In: Scheffer/Schachtschabel (Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. S. 39-40, 11. Auflage, E. Enke, Stuttgart 1982.
- Takahashi, E. und Miyake, Y.: Silicia and plant growth. Proc. Int. Sem. Soil. Env. Fert.-Man., page 603-611, Jap. Soc. Soil Sci. Plant Nutr., 1977
- Wildhagen, H.: Erhöhung der Mobilität und Extraktibilität von Boden- und Düngerp durch Kalke und lösliche SiO<sub>2</sub>-Formen. Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch., 22, 411-418, 1975.
- Williams, D.E. und Vlamis, J.: The effect of silicon on yield and manganese - 54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. Plant Physiol. 32, 404-409, 1957.
- Yoshida, S.; Javasero, S.A. und Ramirez, E.A.: Effects of silicia and nitrogen on some leaf characters of the rice plant. Plant and Soil 31, 48-56, 1969.
- Zeid, F.A. und Kuhn, H.: Effekt von Kieselsäure auf die Standfestigkeit von Getreide. Landw. Forsch., 26; (Sonderheft), 105-112, 1971.



der Anstieg des pH-Wertes beim NaF-Test. Beide Effekte wurden dem Vorhandensein von Fe- und Al-Oxiden und -hydroxiden zugeschrieben, da weder bei Extraktionsverfahren (HASHIMOTO und JACKSON, 1960) noch bei röntgenographischen oder raster-elektronenmikroskopischen Beobachtungen eindeutige Hinweise auf Allophan oder Imogulit gewonnen werden konnten.

Einen Fortschritt versprach die von FARMER, RUSSELL und BERROW (1980) angewandte Methode der Gewinnung von sauer-dispergierbarem Feinton ( $< 0,4 \mu\text{m}$ ). Nach Beobachtungen der Autoren ist in dieser Fraktion Allophan und Imogulit angereichert.

In Schottland fehlten Imogulit und Allophan in A-Horizonten, Bleichzonen und Bh-Horizonten weitgehend, wurden dagegen besonders in unteren B-Horizonten beobachtet, in denen es zu Anreicherung von Al und lösli. Si gekommen ist.

An Anlehnung an die schottischen Ergebnisse wurden zur eingehenden Untersuchung 5 Horizonte ausgewählt:

Nr. 1054, Bhs, Profil Bärhalde,	Podsol	(B 1, DBG Freiburg)
Nr. 1010, Bs1, Profil Rotmeer,	Podsol	(B 7)
Nr. 1061, Bv2, Profil Weidfeld,	Braunerde	(B 2)
Nr. 2163, Bs, Profil Neuhof,	Podsol	(A 7)
Nr. 3079, Bv2, Profil Wildmooswald,	Sauerbraunerde	(A 5).

Analysendaten dieser Proben finden sich bei KEILEN (1978), STAHR (1979) und ZÜTTL (1979).

Die in Matsuyama durchgeführte elektronenmikroskopische Untersuchung ergab in allen 5 Horizonten eindeutig Röhren des Minerals Imogulit. Zusätzlich wurde in den Bs-Horizonten 1054 und 1010 kugelige Allophane gefunden. In der Probe 1010 wurde außerdem faseriger Goethit gefunden, der hier häufiger als die beiden anderen Minerale zu sein schien. Eine halbquantitative Abschätzung des Imogulitanteils aus der Ausbeute und dem Anteil in der bestimmten Probe ergab ca. 1 % der Tonfraktion. Bei Berücksichtigung des Tonanteils der Böden ergeben sich 0,3-2 o/oo bezogen auf die Feinerde. Unter Berücksichtigung von Raumgewicht und Mächtigkeit der Horizonte ergab dies einen Bereich von 50 g/m<sup>2</sup> bis 2 kg/m<sup>2</sup> Imogulit in den untersuchten Böden. Da bekannt ist, daß Imogulit und Allophan weitgehend oxalat-löslich sind (WADA, 1977), kann der maximale Imogulitanteil ebenfalls aus der oxalatlöslichen Kieselsäure ermittelt werden. Hierbei ergäbe sich mit  $< 100 \text{ g/m}^2 - 2,2 \text{ kg/m}^2$  eine gute Obereinstimmung. Es kann daraus gefolgert werden, daß Si<sub>0</sub> fast ausschließlich aus dem Imogulit stammt.

Eine Diskrepanz ergibt sich erst, wenn man dasselbe mit  $Al_0$  versucht. Hier ergeben sich wesentlich höhere Anteile bis ca.  $20 \text{ kg/m}^2$ . Dies legt den Schluß nahe, daß tatsächlich andere Al-Verbindungen neben Imogulit und Allophan vorkommen bzw. sogar überwiegen.

Fragt man nach einer Quelle für den neugebildeten Allophan, so bieten sich die in allen Profilen vorhandenen und auch verwitternden Feldspäte (insbes. Plagioklasse; GUDMUNDSSON und STAHR, 1981) an. Es ist aber ebenfalls zu prüfen, ob Beimengungen von vulkanischer Asche der Laacher-See-Eruption als Quelle in Frage kommen. Hierzu wurden bereits früher (MAUS und STAHR, 1977) begleitende Schwermineraluntersuchungen durchgeführt. Diese wurden jetzt für eine Reihe von Proben wiederholt. In allen Fällen konnte in den Mineralböden keinerlei Bimsmineral gefunden werden. Gegen die Bimsbürtigkeit spricht auch das Auftreten des Imogulits in Horizonten, die der Haupt- oder Basisfolge angehören, Schuttdecken also, deren letzte Umlagerung sicherlich vor dem Laacher-See-Ereignis liegt.

Trotz des bisher fehlenden Nachweises in Mineralböden, läßt sich die maximale Zufuhr aus den bekannten einige mm dicken Bimsstofflagen der Schwarzwälder Moore ableiten (RAISCH, 1976; LANG, Bern und HERBST, Hannover, mündl. Mitt.). Hiernach ergibt sich eine Zufuhr von max.  $1-2 \text{ kg/m}^2$ . Da angenommen werden darf, daß Moore für äolische Sedimente Fallen sind, dürfte dies auch die Obergrenze einer verbreiteten Beimengung in den Mineralböden sein. So gesehen müßte sich der Bims quantitativ zu Imogulit und Allophan umgesetzt haben und dann ebenfalls quantitativ verlagert worden sein. Hieraus muß gefolgert werden, daß zumindestens eine alleinige Herkunft des gefundenen Imogulits aus Laacher-See-Tuff ausgeschlossen werden kann. Es bleibt also als Hauptquelle die Feldspatverwitterung der Kristallgesteine.

Um die Rolle der Imogulitbildung in Beziehung zur Bodenentwicklung einschätzen zu können, sind neben der Tonmineral-(Schichtsilikat-)entwicklung insbesondere die vergesellschafteten Prozesse der Al- und Fe-Verlagerung betrachtet worden. Hierauf wurde bereits früher (STAHR, 1979) eingegangen.

Tab. 1 zeigt die Veränderung der Umlagerung in einer abgekürzten Catena. Hieraus kann abgeleitet werden, daß alle sauren Braunerden wie Sauerbraunerden und Podsole Aluminium- und Siliziumverlagerungen zeigen. Das Verhältnis beider Elemente ist hier optisch zugunsten des Si verschoben, da das schmalere Maximum des Si für die Verhältnisbildung gewählt wurde. Ganz anders verhält sich Fe. Eine Fe-Verlagerung kann auch bei sehr differenzierter Probenahme erst in Podsolen festgestellt werden. Die höheren Werte der sog. C-Horizonte bedeuten dort eine bevorzugte Fe-

Oxidbildung gegenüber der Tonbildung (STAHR, 1979). Erst im Profil Neuhof (N) - Podsol - wird dann eine allerdings deutliche Verlagerung erkennbar. Wichtig ist festzustellen, daß Imogulit bereits im Braunerdestadium beobachtet werden kann.

Tab. 1: Auf den Tongehalt bezogene Werte des oxalatlöslichen Aluminiums, Siliziums und Eisens zur Diagnose von Verlagerungsprozessen. (Die B-Horizonte wurden beim Maximum der Si-Gehalte gewählt).

Profil Bodentyp	G Pg-Pb	A hg Be	S Be	W S-Be	L S-Be	N Po
Horizont			% Al <sub>0</sub> / T			
A	1	2	2	3	2	.8
B	.3	7	6	10	5	15
C	.3	2	4	6	2	4
			% Si <sub>0</sub> / T			
A	.3	.7	.2	.2	<.1	<.1
B	.2	5.0	1.8	1.7	1.0	2.8
C	.2	1.5	1.4	1.4	.4	1.5
			% Fe <sub>0</sub> / T			
A	7	8	9	12	9	2
B	7	6	9	11	8	10
C	8	17	10	12	6	5

Fragt man sich jetzt, inwieweit die Beobachtungen im Südschwarzwald diejenigen in Schottland bestätigen oder modifizieren, stellt man fest, daß vieles parallel läuft, so z.B. Tiefenfunktionen des Al<sub>0</sub> und Si<sub>0</sub>; Horizonte, in denen Imogulit auftritt; begleitende Minerale etc..

Wesentliche Unterschiede sind die geringen mobilen Si-Anteile und das Auftreten in Braunerden.

Aufgrund der neuen Ergebnisse haben ANDERSSON et.al. (1982) folgende Thesen zur Podsolentwicklung aufgestellt:

1. Bei Verwitterung freigesetzte Hydroxo-Al-Silikat-Polymere (Protoimogulit) werden im Boden abwärts verlagert und fallen im Unterboden als Imogulit aus. Gleichzeitig wird Fe überwiegend in anorganischer Form abwärts verlagert. Es entsteht ein Bs-Horizont.
2. Die wasserlösliche org. Substanz, welche nun im Al- und Fe-verarmten Oberboden beweglich bleibt, wird abwärts verlagert und bildet auf oder im oberen Teil des Bs in situ Al-, Fe-Komplexe. Es entsteht der Bh-Horizont (vgl. DE CONINCK, 1980 und WIECHMANN, 1978).
3. In den Anreicherungs-horizonten ist die Wasserbewegung gehemmt. In der Stauzone über dem Bh/Bs herrschen reduzierende Bedingungen, die zur Umfällung des Fe führen. Es entsteht ein Iron-Pan (Bb-Horizont).

Ohne eingehend die herkömmlichen Podsolierungshypothesen zu diskutieren, soll hier lediglich versucht werden, ebenfalls theseartig die sich aus den Erkenntnissen der Böden des Schwarzwaldes ergebende Anschauung darzustellen. Dabei seien quantitative Vergleiche zurückgestellt. Es muß beachtet werden, daß ein Teil der Differenzen auf die unterschiedliche Abgrenzung des Podsolbegriffes in der britischen und deutschen Bodenkunde zurückgeht.

- a) Al-Freisetzung und Verlagerung findet bei abnehmenden pH-Werten statt. Dabei wird eine nach unten fortschreitende Al-Chloritisierung beobachtet.
- b) Umlagerung und/oder Freisetzung von Hydroxo-Al-Silikat-Polymeren führt zur Imogulitbildung im Unterboden.
- c) Mit zunehmender Versauerung setzt von oben Dechloritisierung ein.

Alle diese Teilprozesse führen zur Ausbildung von Bv-Horizonten, sauren Braunerden und Sauerbraunerden. Insbesondere die Bv-Horizonte von Sauerbraunerden erfüllen aufgrund ihrer hohen Anteile mobiler Sesquioxide die Erfordernisse der spodic-horizons (Soil Taxonomy), ohne wirklich angereichert zu sein.

- d) Fe-Verlagerung setzt nach deutlicher Al-Umlagerung ein und führt zur Ausbildung von Bvs-Bs-Horizonten.
- e) Nach Ausbildung eines deutlichen Bleichhorizontes kommt es auf dem Bs zur Bildung des Bh-Horizonts. In diesen Profilen kann der Bh eindeutig zur Bleichzone gehören (STAHR, 1979, S. 130; WIECHMANN, 1978).
- f) Die Bildung von Eisenbändchen (Bb-Horizont) ist in erster Linie ein hydro-morpher Prozess und setzt deshalb nicht bestimmte Stadien der Podsolierung voraus (STAHR, 1972).

### Literatur

- ANDERSSON, H.A., M.L. BERROW, V.C. FARMER, A. HEPBURN, J.D. RUSSELL and A.D. WALKER: A reassessment of podsol formation processes. - J. Soil Sci., 33, 125-136, 1982.
- DE CONINCK, F.: Major mechanisms in formation of spodic horizons. - Geoderma 24, 145-152, 1980.
- FARMER, V.C., J.D. RUSSELL and M.L. BERROW: Imogulite and Proto-imogulite-allophane in spodic horizons: Evidence for a mobile aluminium silicate complex in podzol formation. - J. Soil Sci., 31, 673-684, 1980.
- HASHIMOTO, I. u. M.L. JACKSON: Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. - Clays Clay Minerals 7, 102-113, 1960.
- KEILEN, K.: Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bärhaldegranitgebiet (Südschwarzwald). - Freib. Bodenk. Abh., 8, 279 S., 1978.

- MAUS, H.J. und K. STAHR: Auftreten und Verbreitung von Lößbeimengungen in periglazialen Schuttdecken des Schwarzwaldwestabfalls. *Catena* 3, 369-386 (1977).
- RAISCH, W.: Die Entwicklung des Moores Rotmeer. In H. u.d. GOLTZ, G. MOLLER, W. RAISCH u. J. WIPF: Die Bodengesellschaften im oberen Hasbachtal bei Neuglashütten (Hochschwarzwald). Dipl.Arb. Forst.Fak., Univ. Freiburg, 249 S., 1976.
- STAHR, K.: Die Stellung der Böden mit Fe-Bändchen-Horizont (Thin-iron-pan) in der Bodengesellschaft der nördlichen Schwarzwaldberge. *Arb.Inst.Geol.Paläont., Univ. Stuttgart* 79, 85-183 (1973).
- STAHR, K.: Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. *Freiburger Bodenkdl. Abh.* 9, 273 S., (1979).
- STAHR, K. und Th. GUDMUNDSSON: Tonbildung und Tonmineralumwandlung im Gneisgebiet des Südschwarzwaldes. *Mitt.Dtsch.Bodenkd1.Ges.* 32, 811-816, 1981.
- TAIT, J.M., N. YOSHINAGA and B.D. MITCHELL: The occurrence of imogulite in some scottish soils. - *Soil Sci. and Plant Nutr.* 24, 145-151, 1978.
- WADA, K.: Allophane and imogulite, - 603-638, - In: I.B. DIXON and S.B. WEED (Ed.): *Mineral in soil environments*. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, 1977.
- WIECHMANN, H.: Stoffverlagerung in Podsolon. - *Hohenh. Arb.* 94, 139 S., 1978.
- ZÖTTL, H.W.: Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg. - *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.* 28, 389 S., Göttingen, 1979

Referate  
der  
Sitzung der Arbeitsgruppe  
B O D E N M I K R O M O R P H O L O G I E

in  
BRAUNSCHWEIG  
am  
27. und 28. März 1984



Zur Mikromorphologie der Bodenbildung aus basaltischem Zersatzmaterial

von

Altemüller, H.-J.<sup>+</sup> u. Th. Poetsch<sup>++</sup>

Einleitung

Am Westrand des Vogelsberges finden sich in einem Gebiet von etwa 100 km<sup>2</sup> Größe, das nach SCHÖNHALS (1954) von den Ortschaften Garbenteich, Hattenrod, Wetterfeld und Hungen umgrenzt wird, ausgedehnte Flächen von auffällig braun-zinnoberroten Böden, die schon früh als Relikte tertiärer Verwitterung erkannt worden sind (SCHÖTTLER, 1918). Seit den grundlegenden Arbeiten von HARRASSOWITZ (1921, 1926) wurden diese erst in jüngerer Zeit von SCHELLMANN (1966) und WIRTZ (1972) wieder ausführlicher untersucht. - Eine Profilbeschreibung mit farbiger Abbildung findet sich bei MÖCKENHAUSEN (1977, S. 124 ff. und 264 ff.). Der hierin dargestellte Boden ist der oberste Abschnitt von oft mächtigen, umgelagerten Decken, die bis in Tiefen von vielen Metern aus rundlichen, schorfig-erdigen, zinnoberroten, tonigen Aggregaten in ziemlich loser Anordnung bestehen. Das Ausgangsmaterial ist basaltisches Gestein oder Zersatzmaterial.

Typologisch wurde das rote Material als Siallit bezeichnet (HARRASSOWITZ), später als (lateritische) Roterde, auch Rotlehm oder, in Anlehnung an die französische Nomenklatur, als Ferralit. Über neuere Zuordnungen siehe SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1982, S. 395 ff.). Diese Namen basieren zumeist auf der chemischen Beschaffenheit und sagen wenig über die Entwicklung der Böden, die angesichts der langen Zeiträume von Bildung, Umlagerungen und Folgeprozessen ohnehin schwer zu rekonstruieren ist. - Mikromorphologische Untersuchungen fehlen in den bisherigen Arbeiten weitgehend. Der vorliegende Beitrag fußt auf diesen Methoden und befaßt sich mit einem Teilproblem in der Übergangszone des roten Bodens mit angrenzendem Zersatzmaterial.

Material und Methoden

In der Luftlinie etwa 2 km ostwärts von Lich, im Aufschluß "Eiserne Hose", ist an der SW-Wand ein Boden erhalten geblieben und angeschnitten, der offenbar noch im ursprünglichen Zusammenhang mit einem basaltischen Zersatzmaterial steht (sh. WIRTZ, 1972; ferner den Führer zur Exkursion A, DBG-Tagung Gießen, Mittelgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 17, S. 116 - 118, 1973). Der Boden hat, in Annäherung an KUBIENA (1962), die Merkmale eines Rotlehms, ihm fehlen die rundlichen erdigen Aggregate. Statt dessen sind verschieden große, polyedrische bis prismatische Absonderungskörper in meist geschlossener Anordnung vorherrschend. Durch das nach unten sich vergrößernde Spaltensystem werden dort größere prismatische Körper ausgeschieden. Auf Spaltflächen haften schwach glänzende, braunrote Tonbeläge. An Bruchflächen kommt, nach unten zunehmend, ein weißgraues Zersatzmaterial zum Vorschein. Die zugängliche Profiltiefe beträgt etwa 4 m. Unverwitterter Basalt ist nicht aufgeschlossen.

\* Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde (FAL), 3300 Braunschweig, Bundesallee 50

\*\* Institut für Geographie, Univ. Hamburg, 2000 Hamburg 13, Bundesstraße 55

Aus diesem Profil wurden in dichter Folge Kastenproben von 9 x 13 x 6 cm Größe in ungestörter Lagerung entnommen und, aus Teilstücken daraus, Dünnschliffe hergestellt. Wegen der z. T. hohen Gehalte an Fe-Oxiden (Problem der Durchstrahlbarkeit) und der zu erwartenden tonigen Feingefüge im Zersatzmaterial (Problem der gegenseitigen Oberlagerung von Teilchen) war es erforderlich, möglichst dünne Schliffpräparate herzustellen (Dicke < 10 µm). Dadurch wurde auch die Anwendung von Interferenz- und Phasenkontrastverfahren möglich. Ergänzende Analysen und rasterelektronenoptische Untersuchungen sind im Gange. Sie finden hier nur auszugsweise erste Erwähnung.

### Ergebnisse der Dünnschliffuntersuchung

Das Zersatzmaterial zeigt im Handstück unter der Lupe (ab 10 x) zahllose gleichmäßig verteilte schwarz und bräunlich glänzende Kriställchen in einer weißen, feinstkörnigen, zerreiblichen Matrix. Im Dünnschliff ist dieselbe Matrix vollkommen farblos durchscheinend und ohne besondere Hilfsmittel kaum wahrnehmbar. Die eingesprengten dunklen Kriställchen treten dagegen auffallend hervor und lassen sich in zwei Komponenten gruppieren:

- Ilmenit: Opake, meist leistenförmige Querschnitte von tafeligen Kristallen. Glatte Brüche sind häufig, die Teile zeigen aber keine gegenseitige Verschiebung. Die Größe ist variabel. Querschnitte von etwa 100 µm Länge und 10 µm Dicke sind häufig. Tafeln bis über doppelte Größe kommen vereinzelt vor.
- "Iddingsit" (Pseudomorphose nach Olivin): Deutlich erhaltene Kristallformen des Olivins. Glatte Absonderungen sind häufig, jedoch sind auch hier die Teile nicht gegeneinander verschoben. Die Größen der Gesamtkörner entsprechen den Fraktionen Mittelsand und Feinsand. Auffallend ist die vollkommene pseudomorphe Umwandlung in gleichmäßig orangebraun durchscheinende, doppelbrechende Individuen. Nur selten sind Kernzonen frei geblieben, aber stets leer.

Verschiedene Saumbildungen in der Matrix, teils aus Fe- oder Mn-Oxiden, teils aus leukoxenartigen Ausscheidungen, lassen vor allem die Umrisse von ehemals vorhandenen Pyroxen in charakteristischer Gruppierung erkennen. - An tonigen, pseudomorphen, farblosen Neubildungen wird auch deutlich, daß leistenförmige Plagioklase ausgebildet waren (Phasenkontrast!). Das tonige Material ist zellig-porös und zeigt einen regelmäßigen Wand- oder Belagaufbau, in dem isotrope und zwei schwach doppelbrechende Zonen ( $\Delta_n$  0,003 und 0,006) einander abwechseln. Die Lichtbrechung liegt etwa bei 1,56, isotrope Zonen etwas niedriger.

Im Übergang zum Rotlehm, der sich ohne scharfe Grenzen vollzieht, überprägen zunächst vor allem mechanische Prozesse das vordem allein gesteinsverwandte Gefüge: Ausformung von Feinaggregaten und Röhren (am Profil nicht erkennbar), die u. a. vermutlich auf Wurzel- und Tieraktivitäten zurückgehen. Auch im Innengefüge kommt es zu Veränderungen: die Iddingsite (in geringerem Maße auch Ilmenite) "schwimmen" in ihren Teilstücken auseinander. Die Größen entsprechen nun den Fraktionen Feinsand und Grobschluff. Trotzdem bleibt die zellige Tonmatrix weiß durchscheinend. Dünne, orangebraune Tonbeläge finden sich nur auf Außenflächen (z. B. von Feinaggregaten), nicht innerhalb der Matrix.

Erst im Rotlehm setzt eine stärkere Homogenisierung ein. Sie ist verbunden mit der Auflösung des zellig-porösen Gefüges der Tonmatrix. Dabei verschwinden die pseudomorphen Bildungen nach Pyroxen und Plagioklas. Orangefarbener Feinton - allerdings nicht in großen Mengen - durchsetzt nun auch schlierenartig die farblose Matrix. Die Iddingsite kommen nur noch als Teilstücke vor; ihr ehemaliger Zusammenhang läßt sich jetzt nicht mehr rekonstruieren. Eine stoffliche Veränderung findet offenbar nicht statt, die Farbe bleibt im allgemeinen unverändert.

Eine nahezu vollkommene Umwandlung erfahren die Ilmenitkristalle. Bereits im Übergang vom Zersatz zum Rotlehm wird erkennbar, daß an den Rändern dunkelrot durchscheinende Schuppen in Größen von etwa 2 bis 6 µm auftreten. Im Auflicht-Dunkelfeld zeigen sie eine intensiv blutrote Streureflexion. Mit der Zunahme der roten Partikel, die sich hofartig um die Ilmenitplättchen anordnen, ist deutlich eine Verkleinerung und schließlich völlige Veränderung des Ilmenits zu einem rötlich durchscheinenden Material verbunden. Im polierten Anschliff bleiben dann nur noch sehr dünne Lamellen mit der Reflexion des Ilmenits sichtbar. Schließlich geht der Zusammenhang verloren und die Teilstücke aus roten oxidischen Aggregaten und Ilmenitrelikten werden in die Matrix eingemischt.

### Analysenergebnisse

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der chemischen Gesamtanalyse von den Proben "Rotlehm" (4196/97) und "grauer Zersatz" (4206) aufgeführt. Als Hauptbestandteile treten SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Fe-Oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und FeO nicht getrennt) deutlich hervor. Die Si/Al-Verhältnisse sind sehr eng. Bemerkenswert ist, daß sich die Werte beider Proben praktisch nicht unterscheiden. Außerdem besteht gute Übereinstimmung mit den Befunden von WIRTZ (1972).

Die Bestimmung von dithionit- und oxalatlöslichem Eisen ergab folgendes:

	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>
"Rotlehm"	8,76 %	1,40 %
"grauer Zersatz"	7,18 %	1,11 %

In einer orientierenden Tonmineralanalyse (nach Abtrennung der Schwerminerale Herstellung von Texturpräparaten mit Aqua dest. und Sättigung mit Glycerin, Röntgengerät Müller "Mikro 111", Philips-Goniometer, Cu-K<sub>α</sub>-Strahlung) ergaben sich beim "grauen Zersatz" Maxima bei 7,2 Å, 4,4 Å und 3,6 Å. Demnach liegen kaolinitische Minerale vor. Das am stärksten ausgebildete 4,4 Å-Maximum läßt auf die Anwesenheit von Metaballoysit schließen. In einer Probe aus orangebraunen Tonbelegen fehlt das 4,4 Å-Maximum, dafür tritt ein sehr schwacher 4,8 Å-Peak hervor, der auf Spuren von Gibbsit deutet.

	"Rotlehm"		"grauer Zersatz"		Alkalibasalt Lich-Arnsburg SCHORER (1971) Nr. 1366 a
	Nr. 4196/97*)	WIRTZ (1972)	Nr. 4206*)	WIRTZ (1972)	
SiO <sub>2</sub>	30,72	33,0	30,25	32,8	42,39
TiO <sub>2</sub>	3,60	4,2	4,01	5,9	2,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,46	28,6	27,27	27,2	10,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; FeO	21,22	24,5	20,14	21,4	9,70
MnO	0,20		0,22		0,06
Alk. u. Erdalk.	1,14		0,93		31,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; SO <sub>3</sub>	0,38		0,68		0,61
H <sub>2</sub> O	15,33		15,14		2,80
SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,12	1,15	1,11	1,21	3,96

Tab. 1 Gesamtanalysen aus einem Profil im Aufschluß "Eiserne Hose"/Lich (Gew. %) und Vergleich mit einem Alkalibasalt

\*) RFA-Bestimmung im Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg

## Diskussion

Betrachtet man das weißgraue Zersatzmaterial im Hinblick auf das mögliche Ausgangsgestein, so muß noch einmal betont werden, daß die Ilmenite, die Iddingsite und, weniger deutlich, auch die Pseudomorphosen nach Pyroxen und teilweise Plagioklas räumlich in ungestörter Anordnung verblieben sind. Dies gilt für große Teile der aufgeschlossenen Wand. Die Spalten mit Tonbelägen ändern diesen Sachverhalt nicht wesentlich. Trotz der nahezu vollständigen stofflichen Umwandlung ist das Gesteinsgefüge praktisch isomorph und volumentreu erhalten geblieben (Solche Saprolithbildung hat SCHMIDT-LORENZ schon 1962 aus Graniten Indiens und Ceylons beschrieben).

Als Ausgangsmaterial ist ein olivinführendes, festes Basaltgestein anzunehmen; nach unseren Vergleichen ein Alkalibasalt. Unter den verschiedenen Gesteinsvarianten im Raum zwischen dem Schiffenberg und Gonterskirchen/Stornfels kommen Gesteine unterschiedlichen Verwitterungsgrades vor, die dem Zersatzmaterial von Licht gut entsprachen. Darin sind die Olivine vom Rand her in hellgelb durchscheinenden Iddingsit umgewandelt; die Pyroxene sind Titanaugit mit charakteristisch anomalen Interferenzfarben. Die Plagioklase, meist Andesin mit albitreicheren Randzonen, sind leistenförmig, stark verzwilligt, den vorgenannten Mineralen zwischengelagert. In Kornwinkeln findet sich eine isotrope, sehr niedrig lichtbrechende Zwischenmasse (vermutlich Analcim) und in Hohlräumen kommt, zusammen mit einer tonigen, stark doppelbrechenden Saumbildung etwas Nephelin mit deutlich hexagonalen Querschnitten vor. Als Erz überwiegt, im Gegensatz zu anderen benachbarten Basalten, stets tafeliger Ilmenit. Basaltische Hornblende wurde nicht gefunden, gelegentlich aber etwas Biotit. Da dieser Zusammenhang einige Sicherheit hat, ist es interessant, die Ergebnisse der Gesamtanalyse eines Alkalibasaltes von SCHORER (1971) zum Vergleich heranzuziehen (Tab. 1). Dabei kann man zu der Annahme kommen, daß außer einem markanten Verlust an Kieselsäure, Alkalien und Erdalkalien und der Aufnahme von Wasser keine anderen Ein- und Austragungsvorgänge bei der Zersatzbildung stattgefunden haben müssen. Die Gehalte an Titan-, Aluminium- und Eisenoxid erweisen sich bei entsprechender Umrechnung als einigermaßen konstant. Der zusätzliche Fe-Bedarf bei der Olivin-Iddingsit-Umwandlung ist möglicherweise aus der Auflösung der Pyroxene gedeckt worden. Freiwerdende Titanoxide sind in leukoxenhaltigen Saumbildungen verblieben.

Im Übergang vom weißgrauen Zersatz in den Rotlehm hat sich, trotz der starken Farb- und Gefügeumwandlung, nach dem analytischen Befund mengenmäßig nichts verändert. Die Rotfärbung des Substrates beruht nach dem mikroskopischen Befund vor allem auf der Verwitterung des Ilmenits. Dies ist hervorzuheben, denn Ilmenit ist im allgemeinen besonders resistent. Bei seiner Umwandlung entsteht hier auffallend viel rotes Material (Fe-Oxide), es finden sich aber vergleichsweise wenig Umwandlungsprodukte, die als "Leukoxen" den Titanoxiden (Anates, Rutil) zuzuordnen sind. Nach RAMDOHR (1966) ist Ilmenit in seiner Zusammensetzung sehr variabel. Höhere Fe-Gehalte sind häufig, führen jedoch bei der Abkühlung zu Entmischungslamellen aus Hämatit oder Magnetit, es sei denn, daß diese bei rascher Abkühlung nur submikroskopisch auftreten. In den von uns untersuchten Proben wurden keine Entmischungslamellen beobachtet (polierte Anschliffe, OPAK-Illuminator). Herauspräparierte Einzelkörner von Ilmenit sind aber stark magnetisch. Dies deutet auf überhöhte Fe-Gehalte, wohl als Magnetit-Anteil (sog. Magneto-Ilmenit).

Die mikroskopische Bestimmung der neugebildeten roten Fe-Oxide ist wegen ihrer geringen Größe unsicher und wird in anderem Zusammenhang weiter verfolgt.

Eine Mitteilung von BIBUS (1975) über die vermutliche Neubildung von Ilmenit am oberen Rand einer Basaltzersatzzone im Übergang zu roten Horizonten (Bohrung bei Friedberg) steht im Gegensatz zu unseren Ergebnissen. Weitere Untersuchungen wären hier von Interesse. Vor allem wäre zu prüfen, ob nicht ein Fazieswechsel im Gestein, wie er häufig vorkommt, dem Auftreten von Ilmenit zugrunde liegt.

Eine Verwitterung des Iddingsits ist nicht zu beobachten. Zwar kommt örtlich eine randliche Rotfärbung vor, die entscheidende Veränderung ist aber nur die fortschreitende mechanische Zerkleinerung entlang von meist vorgegebenen Spalten.

Die Tönverlagerung ist vermutlich ein jüngerer Prozeß. Mit der Rotfärbung aus der Ilmenitverwitterung besteht offenbar kein direkter Zusammenhang. Dieser Horizont wird selbst nur mit dem sehr feinsortierten, orangebraunen Ton angereichert. Vielleicht stammt der Ton aus einem höher liegenden Horizont, der nicht mehr vorhanden ist.

Genetische Fragen müssen noch weitgehend offen bleiben. Wir neigen dazu, den Vorgang der Zersatzbildung (bei dem möglicherweise geogene Prozesse noch mitgewirkt haben) von der Bildung des roten Horizontes (die sicher pedogen ist) zu trennen. Dieser sog. "Rotlehm"-Horizont hat sich vermutlich erst aus dem schon vorhandenen Zersatzmaterial gebildet. Gefügekundlich handelt es sich nicht um einen Rotlehm im Sinne KUBIENAS (1962), wie nach den äußeren Merkmalen zunächst anzunehmen war. Die Fe-Quelle ist nicht in Fe-belegten Tönen zu suchen, sondern in unserem Falle durch die Verwitterung der verbliebenen Erzkomponente (Ilmenit) gegeben. Der gefügekundliche Aspekt eines Rotlehms entsteht hier erst durch die spätere Zufuhr eines orangebraunen Feintons, über den noch nichts Näheres ausgesagt werden kann.

Zwischen dem "Rotlehm"-Horizont von Lich und den eingangs beschriebenen roten erdigen Schuttmassen besteht mikromorphologisch noch ein großer Unterschied, der im vorliegenden Bericht nicht weiter verfolgt wird. Die generelle stoffliche Verwandtschaft steht jedoch außer Zweifel. Unter den zahlreichen Aspekten, die noch nicht berücksichtigt wurden, sind auch die gibbsitreichen "Bauxitknollen" zu nennen, die im umgelagerten Deckmaterial zahlreich vorkommen. In dem untersuchten Profil ("Rotlehm" über weißgrauem Zersatz) wurde Gibbsit überraschenderweise mikroskopisch nicht gefunden.

### Zusammenfassung

Bei Lich/Oberhessen ist im Aufschluß "Eiserne Hose" neben den verbreitet vorkommenden zinnoberroten, erdigen Deckenbildungen ein rotlehmartiger Boden erhalten geblieben. Mikromorphologische Untersuchungen bestätigen die Vermutung, daß dieser Boden noch im ursprünglichen Zusammenhang mit einem weißgrauen basaltischen Zersatzmaterial steht und aus diesem hervorgegangen ist. Die Rotfärbung wird auf die oxidative Verwitterung des Ilmenits zurückgeführt, der als einziges Mineral aus dem ursprünglichen Bestand eines vordem vorhandenen Alkalibasalts unverändert im Zersatz erhalten geblieben ist.

Wir danken Herrn Prof. Dr. T. Harrach für die Oberlassung von Bildmaterial vom Aufschluß Lich und Herrn Prof. Dr. U. Schwertmann für weiterführende Diskussionen.

## Literatur

- BIBUS, E. (1975): Eigenschaften tertiärer Flächen in der Umrahmung der nördlichen Wetterau (Taunus- und Vogelsbergtrand). - Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 23, 49 - 61, Berlin u. Stuttgart.
- CABRAL, C. (1973): Die tertiären Laterite des westlichen Vogelsberges und ihre Eignungen als Steine und Erden-Rohstoffe. - Clausthaler Geol. Abh., 16, 153 S., Clausthal-Zellerfeld.
- HARRASSOWITZ, H. (1921): Die Entstehung der oberhessischen Bauxite und ihre geologische Bedeutung. - Z. Dtsch. Geol. Ges. 73, Mber., 189.
- HARRASSOWITZ, H. (1926): Laterit. Material und Versuch erdgeschichtlicher Auswertung. - Fortschr. Geol. u. Paläontol., 14, 253 - 566, Berlin.
- KUBIENA, W. (1962): Die taxonomische Bedeutung der Art und Ausbildung von Eisenoxidhydratmineralen in Tropenböden. - Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 98 (143), 205 - 213, Weinheim.
- MÖCKENHAUSEN, E. (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - 2. Aufl., 299 S., Frankfurt/M.
- RAMDOHR, P. (1960): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. - 3. Aufl., 1089 S., Berlin.
- SCHIEFFER/SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. - 11. Aufl., 442 S., Stuttgart.
- SHELLMANN, W. (1966): Die Bildung von Roterde und Bauxitknollen im Vogelsberg. - N. Jb. Miner. Mh. 11, 321 - 341.
- SCHMIDT-LORENZ, R. (1962): Zur Mikromorphologie der Eisen- und Aluminiumoxidanreicherung beim Tonmineralabbau in Lateriten Keralas und Ceylons; in: Soil Micromorphology (A. Jongerius, Ed.), 279 - 290, Amsterdam.
- SCHMIDT-LORENZ, R. (1971): Böden der Tropen und Subtropen; in: v. Blankenburg, P. und H.-D. Cremer: Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern, 2, 44 - 80, Stuttgart.
- SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. - Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 2, 1 - 288, Wiesbaden.
- SCHÖNHALS, E. (Ed.) (1973): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1973 in Gießen. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 17, 1 - 257, Göttingen.
- SCHORER, G. (1971): Die Pyroxene tertiärer Vulkanite des Vogelsberges. - Chem. Erde, 29, 70 - 135.
- SCHÖTTLER, W. (1918): Erläuterungen z. geol. Karte d. Großherzogtums Hessen, 1 : 25 000, Blatt Laubach, Darmstadt.
- WIRTZ, R. (1972): Beitrag zur Kenntnis der Paläosole im Vogelsberg. - Abh. Hess. L.-Amt. Bodenforsch. 61, Wiesbaden.

Beispiel zum Verständnis von Humus  
aus der Mikromorphologie

von

Babel, U.\*

Aufgabe

Der Vortrag möchte zeigen, was die mikromorphologische Arbeit zu unserer Vorstellung von der Humusbildung, einem der beiden Hauptprozesse der Bodenbildung, beitragen kann. Welches Bild von Humus entsteht? Entsteht überhaupt ein Bild?

Das soll konkret vorgeführt werden und deshalb wird ein Beispiel verwendet, ein Beispiel eines einzigen Schliffes auf Objektträger im mineralogischen Format.

Ausführung

Das Dünnschliffbeispiel umfaßt mit 2,5 cm Höhe und 1,5 cm Breite den untersten Teil der Humusauflage (einen F-Horizont) und vor allem die oberen 2 bis 2,5 cm des Mineralbodens. Der Schliff ist 20 µm dick (an den Rändern etwas dünner) und wurde mit allen Mikroskopvergrößerungen bis zum Immersionsobjektiv untersucht im Hellfeld-Durchlicht, Dunkelfeld-Auflicht und bei gekreuzten Polarisatoren, für den Oberblick auch unter Stereomikroskop 10x bis 25x.

Die Humusform wurde im Gelände als mullartiger Moder bis Mull angesprochen. Weitere Angaben: 75j. Fichtenbestand (I. Generation nach Laubholz) fast ohne Bodenvegetation, schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus Löß, ebene Lage, 300 m N.N., Harthäuser Wald bei Neuenstadt am Kocher/Südwestdeutschland; Probenahme am 20.8.1965.

Das Mikroskop zeigt ein Bild (Übersicht in Abb.1), das man in Worten sehr grob beschreiben kann. Aber man kann es nicht auf die gleiche Weise beschreiben, wie man es sieht; nämlich alles - oder

---

\* Universität Hohenheim, Institut f. Bodenkunde u. Standortslehre, Emil-Wolff-Str. 27, 7000 Stuttgart-70 (Hohenheim)

doch vieles - gleichzeitig. Diese Gleichzeitigkeit des Sehens verschafft einen Gesamteindruck, der als solcher aber zunächst fast nichts bedeutet; (er leistet erst später etwas für die Wiedererkennung). Aber die Gleichzeitigkeit verschafft - zu Recht oder zu Unrecht - die Vorstellung von Zusammengehörigkeit des Gesehenen. Handhabbar wird das Gesehene erst, wenn Details identifiziert werden, wenn also Gefügeeinheiten erkannt oder wiedererkannt werden. Die Anordnung der Einheiten wird aber gleichzeitig mitbemerkt.

Eine ausführliche Beschreibung ist nicht beabsichtigt. Für die Lösung der Aufgabe genügt es, einige Einheiten (die Hauptgruppen von Grundeinheiten und einige zusammengesetzte) und ihre Lage im Schliff anzugeben. (Für einen im Prinzip systematischen und vollständigen Ansatz einer qualitativen Schliffbeschreibung siehe Babel, 1978). Unmittelbar angeschlossen wird ihre für Humus und Bodenbiologie wichtige Diskussion (dazu, soweit nichts Besonderes angegeben, siehe Babel, 1975).

### 1: Organische Grundgemengteile

a: Organ- und Gewebereste (Nadelfragmente, Feinwurzelreste, Reste von Rinden oder Borken). Diese Teile sind gebräunt, in wenigen Fällen geschwärzt, strukturell gut bis mäßig gut erhalten.

b: Zellreste (aus den Resten einer oder einiger Zellen bestehende Stücke). Oft braun oder rötlich braun, Zellstrukturen noch etwas erkennbar, besonders in den Konturen.

Deutung: Die kleineren Teile gehen ganz überwiegend durch Fraß der Tiere aus den größeren hervor, beginnend mit den intakten Organresten. (Deutung aufgrund von Darminhalts- und Lösungsuntersuchungen von Bodentieren, z.B. Zachariae, 1965.)

Die Hauptmasse des Materials ist aber mineralisch. Hier genügt für die Aufgabe dieses Vortrags eine noch kürzere Darstellung, in der Sonderbildungen, z.B. Konkretionen, garricht berücksichtigt werden.

### 2: Mineralische Grundgemengteile

a: bei schwacher und mittlerer Vergrößerung individuell erkennbare Mineralkörner (Fein- bis Grobschluff).

b. Feinmaterial (<2µm), hellgelblich, teils auch hellbräunlich.  
Deutung: Die bräunlichen Partien enthalten beträchtliche Anteile von organischem Pigment und dieses ist über die Lö-

sungsphase aus den organischen Gemengteilen gebildet worden. (Deutung aufgrund der bekannten Wasserlöslichkeit vieler Humifizierungsprodukte und deren Festlegung an Ton- und Eisenoxid-Oberflächen.)

### 3: Hohlräume

- a: Risse. Die meisten sind eng (10-50  $\mu\text{m}$ ) und horizontal. - Deutung: Entstehung durch Quellung/Schrumpfung und vor allem Frost. (Letztere Deutung aufgrund von Beobachtungen im Gelände bei Bodenfrost.)
- b: Höhlungen. Sie können teils als Interaggregathohlräume beschrieben werden (wobei die Aggregate stark miteinander verbacken sind), teils als Übergänge zu Rissen (rauhwandige Höhlungen mit schlecht zueinander passenden gegenüberliegenden Flächen). - Deutung für die Übergänge zu Rissen: Ursprünglich Interaggregathohlräume, die durch Verbacken der Aggregate, durch Quellung/Schrumpfung und durch Fraß von kleinen Tieren an ihren Rändern umgeformt sind (Deutung aufgrund vergleichender mikromorphologischer Untersuchungen an diesem und anderem Material.)
- c: Hohlraum-Matrices in denen locker liegende Pflanzenreste oder kleine Aggregate auftreten. - Deutung: Große Höhlungen (3b), an der Mineralbodenoberfläche auch der freie Luftraum.

Diese Grundgemengteile bilden Einheiten höherer Ordnung und von diesen interessieren die folgenden.

4: Kleine Aggregate, um 60  $\mu\text{m}$  Größe, andere um 120  $\mu\text{m}$  Größe, etwa isometrisch, kantig, bestehend aus Schluffkörnern (2a) und Feinmaterial (2b), ziemlich oft Zellreste (1b) enthaltend. - Deutung: Enchyträenlösungen, wobei die Tiere in pflanzenrestreichem Bodenmaterial bevorzugt fressen und so die Pflanzenreste weiter zerkleinern (Babel, 1968).

5: Mäßig dichte Gefügebereiche, ganz überwiegend mineralisch.

- a: mit Höhlungen (und unregelmäßig gekrümmten Rissen), das mineralische Feinmaterial oft hellbräunlich (s. 2b); hier sind öfters langgestreckte Mineralkörner und Zellreste schwach bogig angeordnet. - Deutung: Kotmassen von Regenwürmern, wie besonders aus den Kornorientierungen hervorgeht (Zachariae, 1965, p.44).
- b: mit Rissen (mit horizontaler Vorzugsorientierung), das mine-

ralische Feinmaterial meist hellgelblich, Zellreste selten.

Diese 10 Arten von Einheiten, die wir nun kurz kennengelernt haben, sind im Schliff nicht zufallsmäßig verteilt. Man kann vielmehr 4 verschiedene Zonen (als höhere Gefügeeinheiten) unterscheiden.

I: Ganz oben, in einer Hohlraummatrix, Nadeln und Nadelfragmente. In einem Fall bilden sie eine Losung, die (u.a. aufgrund von Resten der peritrophen Membran) als Dipterenlarvenlösung angesprochen wird. Das ist unmittelbar oberhalb der Mineralbodenoberfläche.

II: Es folgt eine ca. 5 mm mächtige Zone, die überwiegend aus mäßig dichtem Gefüge (5a) besteht.

III: Darunter liegt eine 10 mm mächtige, ebenfalls horizontale Zone mit einigen großen Höhlungen, die z.T. Hohlraummatrices für Enchyträerlösungen (4) bilden, aber auch ziemlich viele Pflanzenreste (1a) enthalten. Daneben besteht diese Zone aus Bereichen dichter liegender Enchyträerlösungen und aus mäßig dichten Bereichen (5a). Die Zone ist mäßig deutlich von II unterschieden.

IV: Wieder darunter folgt eine mindestens 10 mm mächtige Zone, in der das mäßig dichte Gefüge mit Rissen (5b) vorherrscht, und Partien mit Enchyträerlösungen seltener vorkommen.

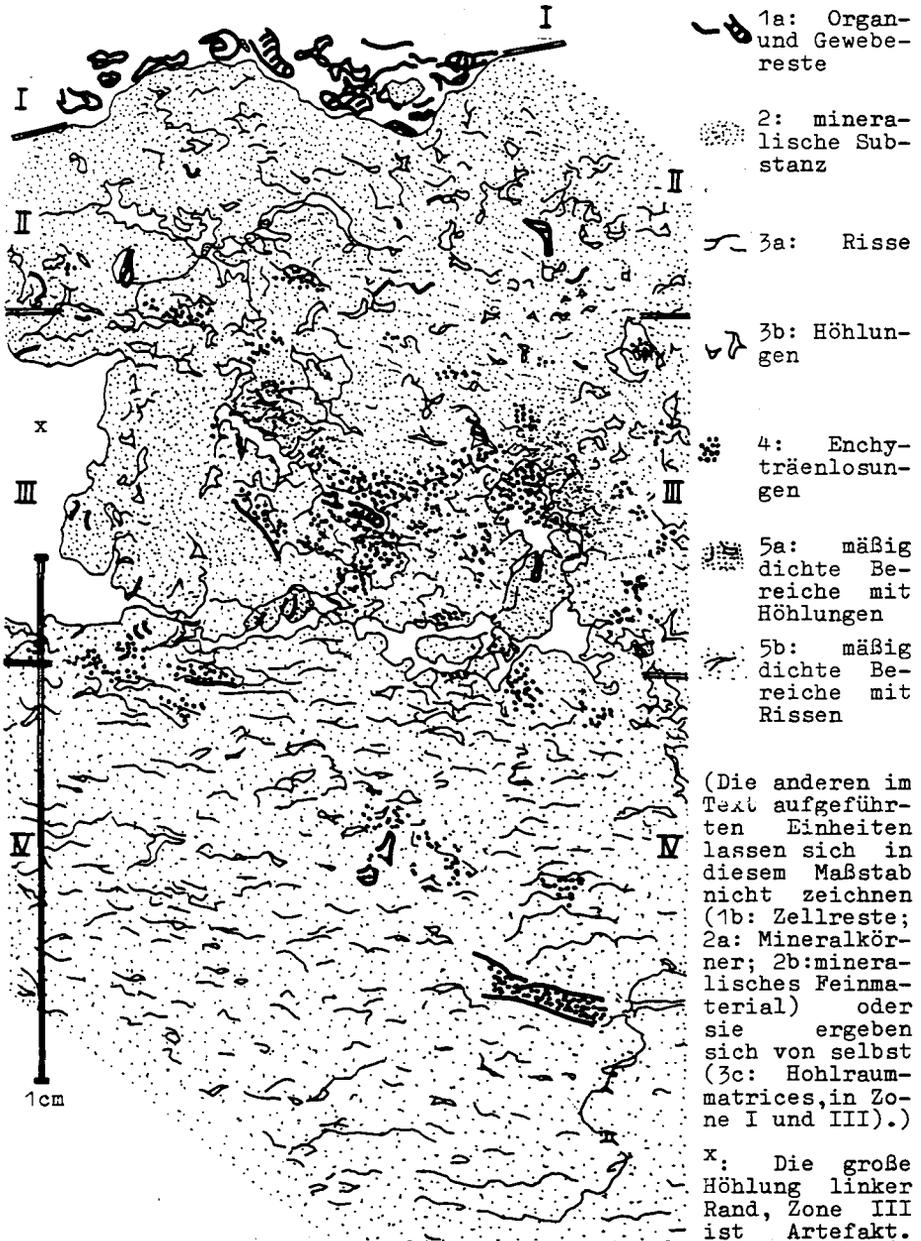
Die Beschreibung hätte auch anders gegeben werden können. Z.B. hätte man gleich Zone für Zone von oben nach unten fortschreitend beschreiben können. Dabei wäre unter Umständen die Gefahr vorschneller Deutungen aufgetaucht durch Formulierungen wie "die Teile sind nun nicht mehr ...", "statt dessen treten ... auf".

Die horizontale Anordnung dieser 4 Zonen legt nun folgende Deutung nahe: Es handelt sich um 4 Horizonte oder horizontoide Zonen, also Bereiche, in denen a) ihnen charakteristische Prozesse ablaufen, b) Prozesse, die auch durch den darüber- oder darunterliegenden Horizont beeinflusst werden oder sogar von oben nach unten zeitlich aufeinander folgen.

Dann kann folgende Vorstellung entwickelt werden: I: Die auf die Bodenoberfläche fallenden Nadeln unterliegen dort chemischen Änderungen (Bräunung, z.T. Schwärzung\*) und werden von einer ersten

\* Hier in ( ) das Merkmal oder die Einheiten, aufgrund derer der Prozess vorwiegend angegeben wird.

Abb. 1: Dünnschliff von Mull - mullartigem Moder. Unterer Teil des F-Horizonts (Zone I) und oberer Teil des Ah-Horizonts (unterteilt in 3 weitere horizontale Zonen II, III und IV). Neuenstadt/Kocher



Gruppe von Tieren zerkleinert (Dipterenlarvenlosungen). II: Sie werden dann gleichzeitig mit anderem Bodenmaterial von einer anderen Gruppe von Tieren gefressen (Regenwurm Kotmassen), dadurch weiter zerkleinert und in die obersten Millimeter des Mineralbodens eingemengt, wobei ein mäßig dichtes Gefüge entsteht. III: An der Untergrenze der Zone II herrschen günstige Bedingungen - Feuchte, große Hohlräume - für eine dritte Gruppe von Bodentieren, die das Material, bestehend aus mineralischer Substanz, organischen Gemengteilen und organischem Pigment, nochmals fressen (Enchyträenlosungen), also nochmals einen Schritt weiter führen in Abbau und Umbau der organischen Substanz, wobei sie gleichzeitig Bereiche von Kleinaggregatgefüge bilden. IV: In einer noch tieferen Zone, die etwa 15 mm unter Mineralbodenoberfläche beginnt, ist die Tätigkeit der Bodentiere nur noch gering, der Abbau der organischen Substanz also verlangsamt; das Gefüge wird hier vor allem abiotisch gebildet (Risse).

#### ERGEBNIS

Die Untersuchungen liefern eine Vorstellung vom Boden als Lebensraum - einem Raum für Lebewesen und einem Raum, der von Lebewesen geformt ist. Lebewesen (und abiotische Agentien) rufen Prozesse hervor, die oft gleichzeitig organische und mineralische Substanz erfassen, gleichzeitig mikroskopische Grundgemengteile und Mikrogefüge verändern.

Dieses Bild enthält nur ansatzweise Beiträge zu dem stofflichen Humusbegriff und geht andererseits über ihn hinaus. Es betrifft etwa das, was umgangssprachlich Humus genannt wird. Es ist ein Bild von Dynamik, das auf der Basis von Grundkenntnissen über mikroskopische Gefügeeinheiten im wesentlichen gewonnen wurde dadurch, daß ein gleichzeitig gesehenes Nebeneinander als ein Nacheinander gedeutet wird.

Die Deutung von Nebeneinander als Nacheinander läßt sich in vielen Fällen nicht von der Hand weisen (so müssen Gewebefragmente in einer Nadel aus dem intakten Nadelgewebe entstanden sein); in anderen Fällen wird sie bei morphologischen Arbeiten leicht zu weit getrieben. So hat zum obigen Beispiel die vergleichende Untersuchung von ca. 15 Humusprofilen, die ebenfalls zwischen Mull und Moder stehen, gezeigt, daß die oben angenommene zeitliche Folge der Horizonte I-II-III-IV nicht sicher gegeben ist.

Zone III liegt oft unmittelbar unter I, Zone II liegt manchmal als nicht durchgehender Bereich zwischen den beiden. Die Deutung ist dann, daß III zeitlich auf I folgt und daß Regenwurmlosungen aus der Tiefe oder von der Seite zwischen I und III gebracht werden. Die zeitliche Folge II-III besteht aber in anderen Fällen sicher auch (dazu auch Zachariae, 1965, p.45 f.). Was im Beispiel zutrifft, läßt sich aus dem einen Schliff nicht entscheiden: er ist für diese Frage zu klein, nämlich kleiner als der Tätigkeitsbereich eines Regenwurms (der Art *Lumbricus rubellus*).

Ein anderer Fehler, zu dem die Diskussion des Beispiels verführen könnte (nämlich, daß die Zeitfolge I-II-III-IV allgemein bestehe), die Generalisierung eines an beschränktem Material erhaltenen Ergebnisses, ist nicht auf Bodenmikromorphologie und nicht auf wissenschaftliches Arbeiten beschränkt. Dieser Gefährdung der mikromorphologischen Humusuntersuchung entspricht aber auf der anderen Seite ihre Stärke: Individuelles - die Ökologie eines bestimmten Humusprofils an einem bestimmten Standort - gut erfassen zu können.

Die mikromorphologische Humusuntersuchung liefert, wie das Beispiel zeigt, nicht nur Einzelfakten und Einzeldeutungen, wie sie weitgehend aus der Kenntnis und dem Erkennen bestimmter einzelner Einheiten folgen - einem Nadelrest, einer Dipterenlarvenlosung. Sie liefert auch eine Gesamtvorstellung. Natürlich ist diese Vorstellung sehr unvollständig. Sie scheint aber einer Bleistiftskizze vergleichbar, die doch schon den dargestellten Gegenstand erkennen läßt und die, wenn man will, ausgeführt werden kann bis zu einem farbigen Gemälde: Das Bild bietet Ansatzpunkte, andere Ergebnisse der Humuskunde, Bodenbiologie, Standortskunde einzubauen oder auch Methoden anderer als mikromorphologischer Art zur Ausmalung des Bildes gezielt anzusetzen.

#### Literatur

- Babel, U. (1968): Enchytraeenlosungsgefüge in Löß. *Geoderma* 2, 57-63.
- Babel, U. (1975): Micromorphology of Soil Organic Matter. p. 369-473 in: J.E. Gieseking (ed.): *Soil Components*. Vol. 1: Organic Components. Springer New York, Heidelberg, Berlin.
- Babel, U. (1978): A graphic scheme for the demonstration of fabric levels in soil thin sections. *Z. Pfl.ern. Bodenkunde* 141, 499-501.
- Zachariae, G. (1965): Spuren tierischer Tätigkeit im Boden des Buchenwaldes. *Forstwiss. Forschungen* H.20, 68 p., Parey, Hamburg, Berlin.



Ätzung von Bodenanschliffen  
für stereologische Untersuchungen

von  
Krause, W. und U. Babel<sup>\*)</sup>

Einleitung

Wir haben in den letzten Jahren in großem Umfang qualitative und quantitative Arbeiten an Bodenanschliffen ausgeführt (Babel und Christmann, 1983; dort weitere Literatur). Dabei wurde mit eingedeckten Anschliffen 6x8 cm Größe gearbeitet. Sie haben den Vorteil, daß die Präparate farblich sehr klar erscheinen. Die Oberfläche ist jedoch nicht gut von in die Tiefe des Präparats reichenden Hohlräumen zu unterscheiden. Die Oberfläche wird aber für stereologische Messungen gebraucht. Wir haben deshalb eine Reihe von Ätzmöglichkeiten zur Kontrastierung der Oberfläche untersucht.

Ätzungen von Anschliffen sind in Metallurgie und (teilweise) Mineralogie geläufige Verfahren (Görlich und Koerfer, 1960). Mindestens Flußsäure-Ätzungen wurden auch in verschiedenen bodenmikromorphologischen Labors beiläufig oder systematisch angewandt, doch scheinen keine Publikationen darüber zu existieren.

Ätzversuche

Wir haben übliche Lösungsmittel für Substanzen, die in Böden in großer Menge auftreten, getestet:

- Salzsäure für Eisenoxide und Kalk,
- Flußsäure für Quarz und Silikate,
- Natronlauge für organische Substanz,
- Natriumdithionit für Eisenoxide.

Mit allen außer mit Natriumdithionit wurden oberflächliche partielle Lösungserscheinungen an Anschliff-Oberflächen, also Ätzungen, hervorgerufen. Diese liefern deutliche optische Kontraste derjeni-

---

<sup>\*)</sup> Fachgebiet Bodenbiologie, Institut Bodenkunde Standortslehre, Universität Hohenheim, D 7000 Stuttgart 70

gen Gefügeeinheiten, die die lösliche Substanz enthalten, gegenüber ihrem Umfeld. Bei der üblichen Auflicht-Dunkelfeld-Beleuchtung erscheinen die geätzten Einheiten heller.

Es können 2 Arten von Schwierigkeiten auftreten. Erstens kann die Ätzung zu tief reichen. Dadurch können einerseits Abweichungen von der ebenen Anschliff-Oberfläche entstehen, die bei stereologischen Untersuchungen als Fehlerquellen wirken. Dadurch kann auch andererseits die Spezifität der Ätzung herabgesetzt werden, indem das Ätzmittel unlösliche Partikel durch Lösung benachbarter Partikel unterspült und so entfernt. Dieser Fehler tritt verstärkt bei Tränklingen auf, in denen die Bodenpartikel durch das Tränkharz unvollkommen benetzt sind: In die Haarrisse zwischen Tränkharz und Bodenpartikel dringt das Ätzmittel in die Tiefe, statt allein von der Oberfläche her anzugreifen. - Diese Schwierigkeit ließ sich durch Einhaltung geringer Ätzzeit genügend gering halten. Ätzttiefen von 3  $\mu$ m wurden dann selten überschritten; das ist weniger als die horizontale optische Auflösung, die bei den stereomikroskopischen Anschliffauswertungen praktisch erreicht wird.

Eine zweite Schwierigkeit trat bei Anschliffen mit stark quellendem Material - ton- und humusreichen Partien - auf. Die wässrigen Ätzlösungen, mit denen gearbeitet wurde, führten zu Quellungen; nach Entfernung der Lösungen traten Schrumpfrisse an der Anschliffoberfläche auf. Auch diese Schwierigkeit ließ sich ausreichend gering halten oder ganz vermeiden durch Einhaltung geringer Ätzzeiten. Um trotzdem genügende Ätzung zu erhalten, wurden hohe Konzentrationen verwendet. Außerdem wurde die Ätzlösung nicht mit Wasser, sondern mit einem dünnflüssigen Mineralöl abgewaschen.

### Vorschrift

Die generelle Vorschrift lautet: Die Anschliffe werden nicht nur, wie für Eindeckung üblich, mit 600er Korundpapier feingeschliffen, sondern noch mit den Diamantpasten 30 $\mu$ , 15 $\mu$ , 7 $\mu$  poliert. Das Ätzmittel wird dem Bodenmaterial und der Untersuchungsaufgabe angepaßt. Verwendet werden Salzsäure oder Natronlauge, Flußsäure nur bei Bodenmaterial mit Quarz- oder Silikatkörnern von mindestens Grobschluffgröße. Es wird (im Gegensatz zu häufiger Praxis in der Metallurgie) mit hoher Konzentration (für alle 3 Chemikalien 20-30 %) und geringer Einwirkzeit (1/2 bis 4 Minuten) gearbeitet. Anschlie-

Bend wird sorgfältig mit dünnflüssigem Mineralöl abgewaschen. - Innerhalb dieses Rahmens muß eine spezielle Vorschrift für ein gegebenes Anschliffmaterial durch Testversuche ermittelt werden. Sie wird abhängen vom Bodenmaterial und von der Qualität des Tränkings (insbesondere der Benetzung der Bodenpartikel durch das Tränkmittel).

Beispiel

Da der Zweck der Ätzung in unseren Arbeiten die Verbesserung der stereologischen Anschliffauswertung unter Stereomikroskop war, wurde in 2 Fällen jeweils derselbe Anschliff nach Eindeckung (mit Mineralöl) und nach Ätzung quantitativ untersucht (Tab. 1).

Tab. 1: Bestimmung der Anteile der Hohlräume >60 µm (%) an zwei verschiedenen Anschliffen nach Eindeckung bzw. nach Ätzung der Oberfläche. (Punktzählung, Stereomikroskop 10x, je 12 Zählfelder zu 10x10 Punkten.)

Bearbeiter <sup>1)</sup>	Anschliff 1 (H-Horizont)		Anschliff 2 (Ah-Horizont, toniger Lehm)	
	eingedeckt	mit Natronlauge geätzt	eingedeckt	mit Flußsäure geätzt
1	24,0	* 2) 34,4	32,0	n.s. 2) 32,7
2	31,0	n.s. 33,7	34,0	n.s. 36,9
3	21,2	* 28,7	31,0	n.s. 32,4

1) Bearbeiter 1 und 2 mit viel, 3 mit fast keiner Erfahrung

2) t-Test für die Sicherung der Differenzen zwischen eingedeckt und geätzt. n.s.: nicht signifikant, \*: auf 5%-Niveau gesichert.

Der eine Anschliff enthielt feinteilige und sehr dunkle, also ohne Ätzung von den Hohlräumen kaum kontrastierte Festsubstanz (1 in Tab.1), der andere grobaggregierte und helle, also in der Tiefe des Präparats (zu) gut sichtbare Festsubstanz (2). In allen 6 Fällen wurde an der geätzten Oberfläche ein höheres Hohlraumvolumen bestimmt als an der eingedeckten, wenn diese Differenz auch nur in 2 Fällen signifikant war. Dieser Befund wird so interpretiert, daß sowohl das dunkle als auch das helle Bodenmaterial im eingedeckten

Anschliff noch in einer gewissen Tiefe des Schliffes gesehen und entgegen der Vorschrift für stereologische Messungen (vgl. Maier, und Babel, 1984) - als Festsubstanz bei der Zählung berücksichtigt wird. Die richtigeren Ergebnisse sind die nach Ätzung.

#### Schlußbemerkung

Mit der Ätzung von Anschliffoberflächen ist, neben der Zugabe von Fluoreszenzfarbstoffen in das Tränkmittel und der Anwendung einer koaxialen Beleuchtung, eine weitere Möglichkeit gegeben, die Schliffoberfläche hervorzuheben als eine Voraussetzung für stereologische Untersuchungen. Ein Vorteil der Ätzung liegt in der Möglichkeit der selektiven Kontrastierung von Stoffgruppen im Boden. Der apparative Aufwand und der Arbeitszeitaufwand für die Präparation sind gering.

#### Literatur

- Babel, U. und A. Christmann (1983): Vergleichende mikromorphometrische Untersuchungen der Humusprofile in zwei Buchenbeständen. *Geoderma* 31, 239-264.
- Maier-Kühne, H.M. und U. Babel (1984): Berücksichtigung des Holmes-Effekts bei stereologischen Messungen an Dünnschliffen. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, dieses Heft.
- Görllich, H.K. und E. Koerfer (1960): Herstellung und Präparation von Stahl- und Metallschliffen für mikroskopische Beobachtungen. S.443-483 in H. Freund: *Hdb. Mikr. Technik I,2*. Umschau-Verlag, Frankfurt.

Berücksichtigung des Holmes-Effekts bei  
stereologischen Messungen an Dünnschliffen

von

Maier-Kühne, H.-M. u. U. Babel<sup>+</sup>)

1. Einleitung

Morphometrische Messungen und Zählungen an Dünnschliffen sind aufgrund der endlichen Schliffdicke mit einem systematischen Fehler behaftet (zuerst erwähnt von HOLMES, 1927, p. 317). Das im mikroskopischen Durchlicht erscheinende Bild kann aufgefaßt werden als Projektion auf die Schliffoberfläche alles dessen, was sich im Bereich der Schärfentiefe innerhalb des Schliffs (im Folgenden als Abbildungstiefe bezeichnet) befindet.

2. Verfälschung von Zählungen

Vom Holmes-Effekt nicht betroffen sind - außer hohlraumfreien Gefügen aus opaken Materialien - Teilgefüge aus Einheiten, deren Querschnitt deutlich anders strukturiert ist als ihre Oberfläche bzw. anders geformt ist als die Projektion der nicht geschnittenen Einheit (z.B. Wurzeln: Schnittprofile sind an der Zellstruktur des Wurzelinneren bzw. an der runden oder elliptischen Form zu erkennen).

Abb. 1 zeigt schematisiert Zählmethoden zur Bestimmung dreier stereologischer Parameter. (Oben sind die Strichgitter dargestellt, die zur Erzeugung von Testpunkten, Testlinien und Testflächen verwendet werden.)

Bei der Punktzählung zur Volumenanteilsbestimmung (1) werden sozusagen punktförmige 'Pröbchen' zufallsmäßig aus dem Bodenmaterial entnommen und zwar an der vom Kreuzungspunkt der Gitterlinien bezeichneten Stelle auf der Schliffoberfläche.

Bei der Oberflächenbestimmung (2) werden Testlinien zufällig in den Bodenraum gelegt (praktisch: der Schliffoberfläche überlagert) und die Anzahl der Schnittpunkte mit Partikeloberflächen pro Testlinienlänge bestimmt.

<sup>+</sup>) Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Postfach 700562, 7000 Stuttgart 70

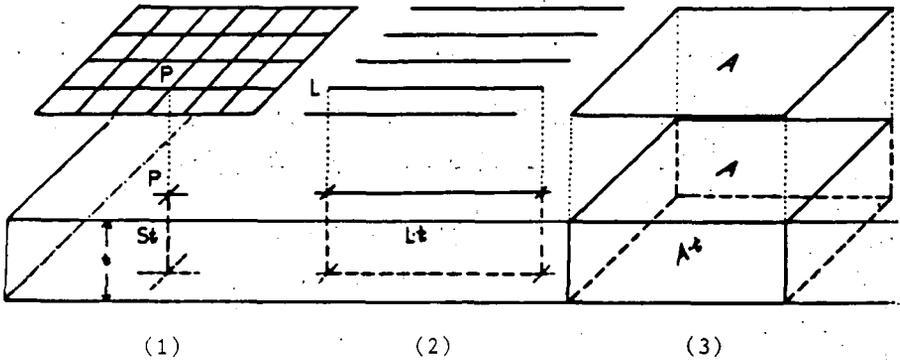


Abb.1: Verfälschung von Zählungen durch endliche Schliffdicke.

- (1): Volumenanteilsbestimmung mittels Punktzählung.  
Der Testpunkt P wird im dicken Schliff zur Strecke  $St$ , von deren Länge  $t$  die Trefferwahrscheinlichkeit und damit der gemessene Volumenanteil abhängt.
- (2): Oberflächendichtebestimmung mittels Schnittpunktzählung.  
Die Testlinie  $L$  wird im dicken Schliff zur Fläche  $L \cdot t$ . Die Größe dieser Fläche bestimmt die Wahrscheinlichkeit des Schnitts von Partikeloberflächen.
- (3): Bestimmung der numerischen Dichte mittels Schnittprofilzählung.  
Die Testfläche  $A$  wird im dicken Schliff zum Volumen  $A \cdot t$ . Es werden nicht nur die von der Schliffoberfläche getroffenen Partikel gezählt, sondern alle in  $A \cdot t$  befindlichen (soweit sie nicht durch weiter oben liegende verdeckt sind).

Die Teilchenzahl pro Volumen (numerische Dichte) (3) wird aus der Anzahl der Schnittprofile pro Testfläche (und der mittleren Größe der Teilchen) berechnet.

Bei Zählungen an Schliffen passiert dies:

- Der Testpunkt P wird zur Strecke  $St$ ; d.h.: Die Wahrscheinlichkeit, auf ein (kontrastiertes) Teilchen zu treffen, wird erhöht, der Volumenanteil dieser Teilchen wird überschätzt, der Hohlraumanteil hingegen unterschätzt.
- Die Testlinien  $L$  werden zur Fläche  $L \cdot t$ . Die Oberflächendichte kann - abhängig von Volumenanteil, Partikelgröße, Krümmung - überschätzt oder unterschätzt werden.
- Die Testfläche  $A$  wird zum Testvolumen  $A \cdot t$ . Die Zahl der darin zu sehenden (und damit gezählten) Teilchen ist i.d.R. größer als es die Zahl der Schnittprofile in der Testfläche wäre.

### 3. Abhängigkeit des Fehlers bei der Volumenanteilsbestimmung von Abbildungstiefe und Partikelgröße

Eine (ältere) Methode zur Volumenanteilsbestimmung ist die 'lineare Integration' (Teststrecken; Streckenanteile  $\hat{=}$  Volumenanteile). Die vom Holmes-Effekt verfälschte Punktzählung läßt sich als 'lineare Integration' auffassen (s. Abb. 2); bei den (senkrecht im Schliff steckenden) Strecken St läßt sich allerdings nur ausmachen ob sie irgendwo auf eine Einheit treffen oder ganz im Hohlraum zu liegen kommen: Nicht-Treffern wird korrekt 0% Streckenanteil zugesprochen, Treffern - unabhängig vom wahren Anteil, der nicht bekannt ist - immer 100%. Die Verfälschung des Zählergebnisses ist also umso größer, je stärker der Anteil der treffenden Strecke, der auf Einheiten entfällt, von der Gesamtlänge der Strecke abweicht, d.h. je kleiner die Partikel im Verhältnis zur Abbildungstiefe sind.

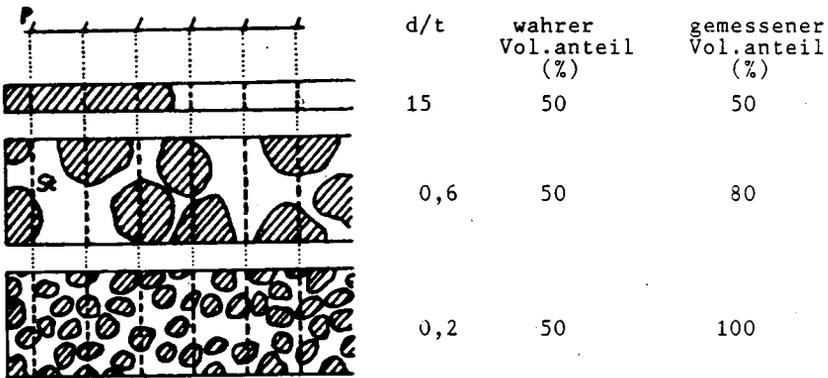


Abb.2: Abhängigkeit des Punktzählergebnisses vom Verhältnis Partikelgröße zu Abbildungstiefe ( $d/t$ ).  
Bei großen Partikeln (bzw. kleiner Abbildungstiefe) ( $d/t > 15$ ) ist der Fehler vernachlässigbar klein. Bei Verringerung der Partikelgröße wächst bei unverändertem Volumenanteil der Anteil der Trefferpunkte.

### 4. Größe des Fehlers durch Holmes-Effekt bei kugelförmigen Partikeln

Bei kugelförmigen Partikeln bekannter Größe kann die Volumenanteilsbestimmung (theoretisch) nach WEIBEL(1979) wie folgt korri-

Tab.1: Korrektur von Volumenanteilsbestimmungen bei kugelförmigen Partikeln (nach WEIBEL, 1979).

$t/d$	0,1	0,5	1	2	5	10	20	50	100
$k_w$	0,06	0,25	0,40	0,57	0,77	0,87	0,93	0,97	0,98
$d$ ( $\mu$ )	2	10	20	40	100	200	400	1000	2000

\*: bei  $t = 20\mu$  Schliffdicke

d: Partikeldurchmesser

t: Schliffdicke

$k_w$ : Korrekturfaktor;  $k_w = \frac{1}{1 + \frac{3t}{2d}}$

giert werden: (s. Tab. 1). Erst bei  $d/t > 10 \dots 20$  ist der Fehler so klein, daß er vernachlässigt werden kann ( $d/t = 20$  und  $t = 20\mu$ :  $d = 400\mu$  (Korngrößenklasse 'Mittelsand')).

Bei nicht-opaken Teilchen wird der Holmes-Effekt teilweise dadurch kompensiert, daß mehr oder weniger dünne Kappen nicht mehr gesehen werden können ("identification effect"; EISENBERG, KUDA u. PETER, 1974). Der Korrekturfaktor muß der Größe dieser Kappen entsprechend verändert werden.

### 5. Möglichkeiten zur Berücksichtigung des Holmes-Effektes

- a) Verzicht auf Zählungen bei Teilchen mit Durchmesser  $d < 15 \cdot t$  (und auch größeren Teilchen mit stark gewellter Oberfläche).
- b) Korrektur von Zählergebnissen
  - b1) Korrekturfaktoren (z.B. nach WEIBEL, 1979) für Volumenanteile, Oberflächen; für kugel-, zylinder-, scheibenförmige Teilchen. Nachteil: Teilchengröße und -form sollte bekannt sein.
  - b2) Korrektur nach MILES (1976) für Aggregate zufälliger Form, Größe und Verteilung. Nachteil: Aufwendige Messung (an zwei verschiedenen dicken Schliffen jeweils drei Parameter (Volumenanteil, Oberflächendichte, Krümmung)).
  - b3) Korrekturfaktor mittels Testmessungen mit starkem Objektiv. Es wird an einigen wenigen Stellen in der Schlifffläche der Anteil  $b$  der Strecke  $t$ , der auf Teilchen zu liegen kommt, bestimmt (s. Abschnitt 3.); Korrekturfaktor  $k = b/t$ . (Praktische Messungen ergaben gute Übereinstimmung der korrigierten Ergebnisse mit Zählungen bei starker Vergrößerung. Der Ar-

Tab.2: Theoretische Gesamtabbildungstiefe (Schärfentiefe)  
(nach MICHEL,1964,p.100)

Okular	Objektiv		Abbildungstiefe ( $\mu\text{m}$ )
	Vergrößerung	Apertur	
10	2,5	0,08	115
10	10	0,25	10,2
10	16	0,45	3,4
10	25	0,50	2,3
10	63	0,85	0,7
10	90	1,2	0,3

beitsaufwand ist u.U. geringer als bei letzteren.)

c) Zählungen mit starkem Objektiv

Durch Verringerung der Schärfentiefe wird das Verhältnis  $d/t$  über 15 angehoben. Ob eine Einheit in der Schärfenebene liegt, kann allerdings i.d.R. nur entschieden werden, wenn sie eine feine Innenstruktur besitzt (z.B. Aggregate aus min./org. Feinmaterial); Konturen stehen (bei der hohen Auflösung) zur Abgrenzung von Trefferpunkten nicht mehr zur Verfügung. In Tab. 2 ist die Schärfentiefe für verschiedene Gesamtvergrößerungen angegeben. Bei Objektiv 90x können Partikel bis ca.  $4\mu\text{m}$  ohne größeren Fehler gemessen werden.

Man sollte möglichst vermeiden, bei jeder Strichgittereinstellung auf die Schliffoberfläche scharf zu stellen. Allerdings muß sich die Schärfenebene bei der Zählung innerhalb des Schliffs befinden.

d) Sichtbarmachung der Schliffoberfläche

- d1) Im senkrechten Auflicht ist nur die Oberfläche zu sehen, (die Schliffe dürfen nicht eingedeckt sein). Das Bild ist nicht farbig. Die Anwendbarkeit bei Dünnschliffen muß noch an verschiedenartigen Objekten geprüft werden.
- d2) Durch Ätzen des Schliffs ist auch bei schrägem Auflicht durch Streueffekte das an die Oberfläche des nicht eingedeckten Schliffs stoßenden Material kenntlich.

### Zusammenfassung

Zählungen und Messungen an Schliffen sind aufgrund der endlichen Schliffdicke mit einem systematischen Fehler behaftet (Holmes-Effekt), der u.a. vom Verhältnis Partikelgröße zu Schliffdicke (bzw. Abbildungstiefe) abhängt.

In der medizinischen Histologie usw. verwendete Korrekturfaktoren setzen ein Gefüge aus gleichartigen Teilchen bekannter Form und Größe voraus oder machen aufwendige Messungen nötig.

Für Teilgefüge aus verschieden geformten und verschieden großen Teilchen läßt sich mit einem von der linearen Integration abgeleiteten Verfahren ein Korrekturfaktor für die Volumenanteilsbestimmung gewinnen.

Bei Teilchen mit Innenstruktur läßt sich der Holmes-Effekt durch Verwendung starker Objektive (geringe Schärfentiefe) weitgehend ausschalten.

### Literatur

- EISENBERG, B.R., KUDA, A.M. u. J. PETER (1974): Stereological analysis of mammalian skeletal muscle: I. Soleus muscle of the adult guinea pig. (J. Cell Biol. 60, 732-754)
- HOLMES, A. (1927): Petrographic Methods and Calculations. (Murby, London)
- MICHEL, K. (1964): Die Grundzüge der Theorie des Mikroskopes. (Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 2. Aufl.)
- MILES, R.E. (1976): Estimating aggregate and overall characteristics from thick sections by transmission microscopy. (J. Micr. 107, 227-233)
- WEIBEL, E.R. (1976): Stereological Methods. Vol. I: Practical Methods for Biological Morphometry. (Academic Press, London)

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung einer  
in VESTOPAL konservierten Bodenprobe

von

Ostlender, H., L. Thyges, K.-F. Schreiber und R. Thöle \*

Vorbemerkungen

Im Rahmen der Bearbeitung von mikromorphologischen Fragestellungen an mit VESTOPAL getränkten Kubiena-Proben wurde untersucht, welche zusätzlichen Informationen der Einsatz eines Rasterelektronenmikroskops (REM) erbringen kann. Über Herkunft und Präparation der hier verwendeten Proben berichten THYGES et al. (1984) im vorstehenden Aufsatz. Die Untersuchung wurde am PHILIPS SEM 505 des Instituts für Medizinische Physik der Universität Münster durchgeführt.

Im REM werden durch Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Probenmaterie diverse Signale erzeugt, welche Aufschluß über Struktur und Zusammensetzung des untersuchten Objekts geben können. Vier dieser Signale wurden bei vorliegender Untersuchung zur Informationsgewinnung ausgenutzt: 1. Sekundärelektronen (SE), 2. Rückstreuielektronen (RE), 3. Kathodolumineszenz (CL), 4. Röntgenstrahlung. Detaillierte Beschreibungen der Signalentstehung bieten REIMER & PFEFFERKORN (1977) sowie LANGE & BLÖDORN (1981).

Ergebnisse und Diskussion der aufgenommenen Signale

Anhand mehrerer Abbildungen soll der Informationsgehalt der verschiedenen Signale dargestellt werden. Die verwendete Probe stammt von einer tiefhumosen Braunerde im Hochschwarzwald bei Bernau. Auf eine Behandlung der Probe mit  $OsO_4$  wurde verzichtet.

Sekundärelektronensignal (SE, Abb. 1)

Bei den ganz dunklen Partien im SE-Bild handelt es sich um Kunststoffmatrix. Mehrere große Mineralkörner sowie eine Vielzahl feinkörniger Bodenbestandteile erscheinen in einem nahezu einheitlichen Grauton. Organisches Material durchsetzt besonders den feinkörnigen Bereich auf der rechten Bildseite. An vielen Phasengrenzen zeigt die Abbildung helle Streifen. Diese rühren von verstärkter SE-Emission an Kanten her (Kanteneffekte, REIMER & PFEFFERKORN 1977). Die

\* Lehrstuhl Landschaftsökologie, Institut für Geographie, Universität Münster, Robert-Koch-Str. 26-28, 4400 Münster

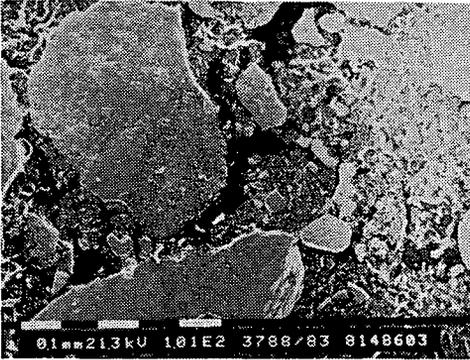


Abb. 1: Sekundärelektronensignal (SE) des Ausschnitts aus einer Kubienprobe, die von einer Humusbräunerde im Hochschwarzwald bei Bernau stammt. Der Abbildungsmaßstab ist aus der Dokumentationsleiste ersichtlich.

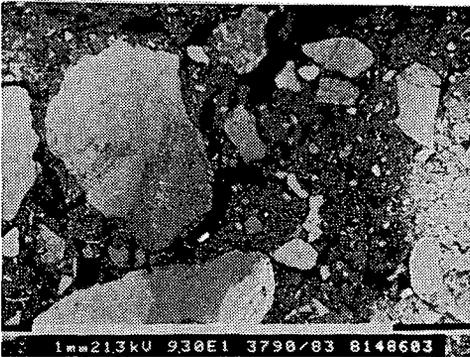


Abb. 2: Abbildung des Rückstreuungssignals (RE) desselben Bildausschnitts wie in Abb. 1.

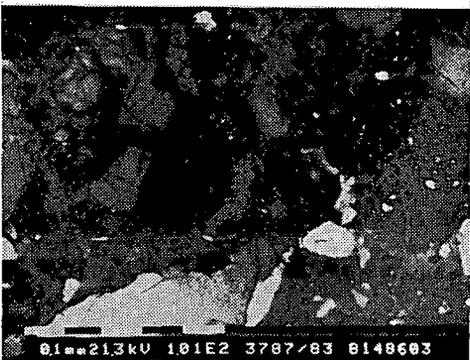


Abb. 3: Kathodolumineszenzsignal desselben Bildausschnitts wie Abb. 1



Abb. 4: Si-Verteilung im Bildausschnitt der Abb. 1-3, aufgezeigt durch die für dieses Element charakteristische Röntgenstrahlung

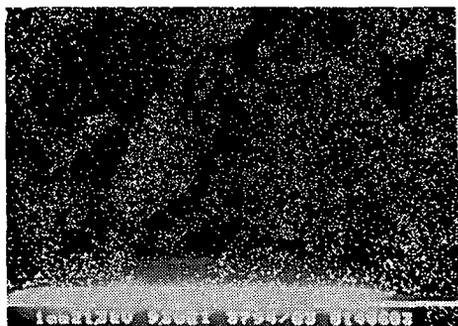


Abb. 5: Die durch Röntgenstrahlung aufgezeigte Al-Verteilung in den Abb. 1-3



Abb. 6: Fe-Verteilung, durch Röntgenstrahlung sichtbar gemacht (derselbe Ausschnitt wie Abb. 1-3)

Bildqualität kann hierdurch, besonders bei hohen Vergrößerungen, wesentlich vermindert werden. Ursache sind feine Risse auf der Probenoberfläche, die durch vollständige Tränkung vermieden werden sollten, um das hohe Auflösungsvermögen des REM weitgehend ausnutzen zu können.

#### Rückstreuелеlektronensignal (RE, Abb. 2)

Bei der Bilderzeugung mittels RE wird die Kunststoffmatrix wie im SE-Signal dunkel abgebildet. Kanteneffekte treten nicht auf. Die einzelnen Mineralkörner zeichnen sich nun durch deutliche Helligkeitsunterschiede aus. Da der Rückstreu-koeffizient mit steigender Ordnungszahl der streuenden Elemente zunimmt, erscheinen Partien mit niedriger mittlerer Ordnungszahl dunkler als Bereiche mit höherer (REIMER & PFEFFERKORN 1977). Die großen Bodenpartikel werden dadurch recht inhomogen abgebildet. Das RE-Signal bietet also gute Möglichkeiten zur Materialdifferenzierung.

#### Kathodolumineszenzsignal (CL, Abb. 3)

In der Abbildung des Kathodolumineszenzsignals erscheint die VESTOPALmatrix nicht dunkel wie beim Elektronensignal, sondern zeigt ein mildes Leuchten. Bereiche mit viel organischer Substanz werden dagegen, von einigen Mineralkörnern abgesehen, dunkel abgebildet. Die großen Mineralkörner bieten nun ganz andere Kontraste als beim Elektronensignal. Flächen ähnlicher Helligkeit im RE-Bild leuchten ganz unterschiedlich.

#### Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDXRA)

Die vom Probenausschnitt emittierte Röntgenstrahlung wurde mit EDXRA ausgewertet. Danach kommen die vier Elemente Si, Al, K, Fe mit folgenden relativen Häufigkeiten vor: Si 73,4%, Al 15,9%, K 5,0% und Fe 2,9%. Alle anderen Elemente bleiben unter der Nachweisgrenze.

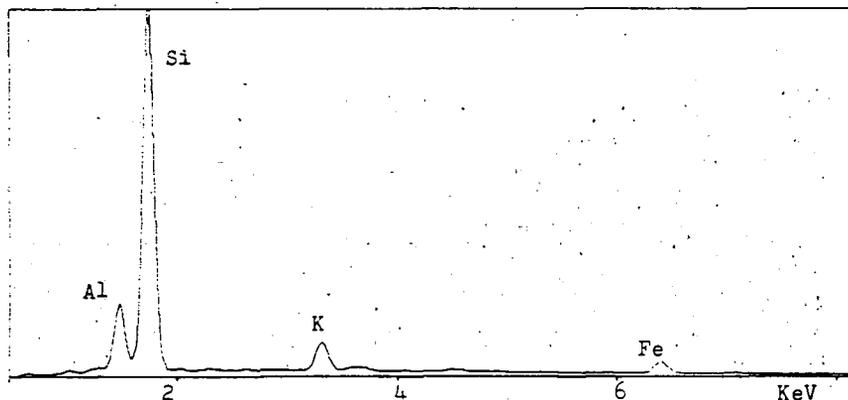


Abb. 7: Spektrum der Röntgenstrahlung des untersuchten Probenausschnitts (Abb. 1-3)

Die Lokalisierung der Elemente ist mit Verteilungsbildern möglich, in denen nur Punkte zum Leuchten gebracht werden, von denen die für ein Element charakteristische Röntgenstrahlung ausgeht. Das Element Si erscheint auf dem gesamten Probenabschnitt verteilt (Abb. 4). Die VESTOPALmatrix hebt sich deutlich ab. Einige Mineralkörner zeigen signifikante Häufungen von Si. In den großen Bodenpartikeln fallen beträchtliche Konzentrationsunterschiede auf. Bereiche, die im RE-Bild gleiche Helligkeit aufwiesen, haben unterschiedliche Si-Konzentrationen; dagegen zeigen Partien hohen Si-Gehalts im CL-Bild (Abb. 3) ähnliche Kontraste. Beim Vergleich von Si- und Al-Verteilung zeigen sich im Al-Bild einige Bereiche auffallend frei von Leuchtpunkten (Abb. 5). An diesen Stellen tritt das Si gehäuft auf. Leicht erhöhte Al-Konzentrationen finden sich dagegen in Zonen, in denen Si zurücktritt. Ansonsten ist Al nahezu gleichmäßig über den Probenabschnitt verteilt.

Beim K treten nur wenige charakteristische Häufungen auf. Wie Al ist auch K in Si-reichen Partien kaum zu finden. Auf eine fotografische Wiedergabe wurde verzichtet.

Das Fe schließlich kommt nur an einer Stelle gehäuft vor (Abb. 6). Die im RE-Bild sehr hellen Partien an der rechten Seite des unteren Mineralkorns zeigen eine hohe Fe-Konzentration. Die Erwartung schwerer Elemente bei starkem RE-Signal wird hier bestätigt.

#### Schlußbemerkung

Die Anwendung rasterelektronenmikroskopischer Arbeitsweisen erweitert die Möglichkeiten, kunststoffgetränkte Bodenproben zu untersuchen. Die Auswertung der verschiedenen im REM entstehenden Signale erlaubt es, sowohl bei morphologischen Fragestellungen als auch im analytischen Bereich in kurzer Zeit vielfältige Erkenntnisse zu gewinnen.

Herrn Prof. Dr. R. BLASCHKE sei auch an dieser Stelle für sein Entgegenkommen und seine Hilfe herzlich gedankt.

#### Literatur

- LANGE, R.H. & BLÖDORN, J. (1981): Das Elektronenmikroskop TEM und REM. - Stuttgart, 327 S.
- REIMER, L. & PFEFFERKORN, G. (1977): Rasterelektronenmikroskopie, 2. Aufl., Berlin, 282 S.
- THYES, L., OSTLENDER, H., SCHREIBER, K.-F. & THÖLE, R. (1984): Zur Präparation von in VESTOPAL konservierten Bodenproben für das Raster-Elektronenmikroskop (REM). Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. (im gleichen Heft)



Zur Präparation von in VESTOPAL konservierten  
Bodenproben für das Raster-Elektronenmikroskop (REM)

von

Thyes, L., H. Ostlender, K.-F. Schreiber und R. Thöle\*

Einleitung

Im Jahre 1973 begannen in Baden-Württemberg die Vorarbeiten zu einem Programm, das sich das langfristige Studium der Veränderungen von Böden und Pflanzenbeständen in Grünlandbrachen zum Ziele setzte. Mit Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg werden seit 1975 in dem noch laufenden Projekt die Folgen verschiedener extensiver Pflegemaßnahmen untersucht (vgl. SCHREIBER 1977, 1980a, b).

In der vorliegenden Arbeit wird die Anwendung rasterelektronenmikroskopischer Arbeitsweisen zur gefügekundlichen Charakterisierung an den gesammelten, in VESTOPAL konservierten Bodenproben (Kubienproben) vorgestellt. Für die Untersuchung sind Proben von der Versuchsparzelle "natürliche Sukzession" zweier unterschiedlicher Standorte ausgewählt worden:

- a) Bernau, südlicher Hochschwarzwald; eine tiefhumose Braunerde aus teilweise verlagertem, lehmig-steinigem Granitgrus über Granit;
- b) Oberstetten, südliches Taubergebiet bei Würzburg; ein Terra fusca-Kolluvium aus lehmig-tonigem Bodenmaterial über Muschelkalk (vgl. SCHIEFER 1981).

Schneiden und Schleifen der Bodenproben

In VESTOPAL konservierte Kubiena-Proben können in der Rasterelektronenmikroskopie nicht, wie bei lichtoptischer Untersuchung, in ihrer vollen Größe von 8x6cm verarbeitet werden, da sie für die Probenkammer der Geräte zu unhandlich sind. Als optimal erwiesen sich 0,5cm dicke Plättchen von ca. 2-3cm<sup>2</sup> Größe. Die Oberfläche der Proben wurde mit Silizium-Carbid-Papier der Körnungen 180, 320, 600 und 1000 geschliffen. Versuchsweise polierten wir anschließend die Anschliffe auf Filztuch und Kunststoffnetz. Im REM zeigte sich jedoch bald, daß zwischen polierter Probenoberfläche und nur geschliffener Oberfläche kein Unterschied

\* Lehrstuhl Landschaftsökologie, Institut für Geographie, Universität Münster, Robert-Koch-Str. 26-28, 4400 Münster

zu erkennen war, so daß auf die Oberflächenpolitur verzichtet werden konnte.

Alternativ zum Schleifen mit SiC-Papier kann eine Methode von BLASCHKE (mündl. Mitteilung) verwendet werden. Ein feines Stahlnetz wird auf dem Teller einer Schleifmaschine befestigt und mit 3µm großen Diamanten besprüht. Der Abrieb bei dieser Methode ist sehr gut und die entstehende Oberfläche für die Untersuchung im REM hinreichend glatt. Ein Nachteil dieser Methode besteht allerdings darin, daß sich Diamantsplitter sowie Abrieb von der Probe und vom Stahlnetz in den Spalten und Vertiefungen der Probe festsetzen und im Ultraschallbad nur sehr schlecht entfernt werden können.

#### Auswahl geeigneter Proben mit dem Lichtmikroskop

Im REM ist die Untersuchung großer Probenmengen nicht möglich, da das Gerät in der Regel stark ausgelastet ist und die Betriebskosten sehr hoch sind (z.B. in der Industrie ca. 400DM/h, BLASCHKE, mündl. Mitteilung). Es ist daher sehr wichtig, vorab Proben auszuwählen, die für die REM-Untersuchung besonders interessant erscheinen. Eine direkte Beobachtung der Oberfläche mit dem Lichtmikroskop liefert nur schlechte Bilder, da die mikrorauhe Oberfläche das einfallende Licht vielfältig reflektiert. Andererseits ist ein Eindecken mit Kleber (bzw. VESTOPAL) und Deckgläschen (ALTEMÜLLER 1962) ausgeschlossen, da im REM nur eine wenige µm dicke Oberflächenschicht abgebildet wird; in diesem Fall also nur das Deckgläschen. Durch Anfeuchten mit Öl (Shell-Öl S 4919), auch für eine grobe, nicht mikroskopische Durchmusterung angewendet, wird die Oberfläche deutlich sichtbar. Auf der Oberfläche auftretende Wölbungen des Ölfilms können bei der lichtmikroskopischen Betrachtung durch Auflegen eines Deckglases vermieden werden.

#### Vakuumtrocknung

Bei der bisherigen Vorbereitung waren die Proben ständig mit Öl in Kontakt, und sämtliche Hohlräume sind mit Öl gefüllt. Für das REM ist es jedoch sehr wichtig, daß eingeschleuste Proben trocken und frei von gasenden Substanzen sind. Ist dies nicht der Fall, so gibt die Probe während der Betrachtung im REM Gasmoleküle ab, die durch den Elektronenstrahl zersetzt werden und

- a) die Mikroskopsäule von innen verschmutzen und dadurch die Vergrößerungsmöglichkeiten des Geräts einschränken,
- b) sich auf der Probenoberfläche niederschlagen und die laterale Auflösung verringern sowie die Analysemöglichkeiten behindern.

Diese negativen Auswirkungen lassen sich vermeiden, wenn man die Proben vorher mehrere Stunden, besser noch mehrere Tage im Grobvakuum (10 Torr) aufbewahrt und zwischendurch die sich bildenden Gase abpumpt.

### Befestigung und Bedampfung der Proben

Bei anfänglichen Versuchen, die Probe mit einer Messingschraube (wie bei anderen Objekten üblich) auf dem Probenhalter zu befestigen und dann mit Kohlenstoff zu bedampfen, zeigte es sich, daß die so erreichte elektrische Leitfähigkeit zu gering ist. Es bilden sich negative Raumladungen in der Probe, die nur langsam wieder abklingen. Die Bildqualität wird durch diese Aufladungen empfindlich gestört und die Probenoberfläche kann thermisch beschädigt werden (Zersetzung des Kunstharzes). Eine ausreichende Leitfähigkeit der Probe wird erreicht durch:

1. Aufkleben der Probe auf Aluminiumplättchen mit elektrisch leitfähigem Kohlenstoffkleber;
2. Herstellen einer Verbindung zwischen Al-Plättchen und Probenoberfläche mit Leit-C-Kitt;
3. Bedampfen mit einer 30-50nm (bei Bedarf bis max. 100nm) dicken Kohlenstoffschicht.

### Kontrastierung mit OsO<sub>4</sub>

Im Rückstreuelektronenbild wird der Kontrast durch die Anzahl der rückgestreuten Elektronen (RE) bestimmt. Die Anzahl der RE wiederum ist von der durchschnittlichen Ordnungszahl des Materials abhängig. Leichte Elemente erscheinen dunkel, schwerere Elemente dagegen heller im Bild (PFEFFERKORN 1977).

Abb. 1 zeigt den Übergang von organischer Auflage zum Mineralboden. Die Mineral Körner im unteren Teil des Bildes werden kontrastreich abgebildet und sind gut zu erkennen. Die organische Substanz im oberen Teil des Bildes ist jedoch nur



Abb. 1: Elektronenmikroskopisches Bild einer Kubienaprobe aus dem Übergangsbe-  
reich org. Auflage-  
Mineralboden ohne  
Kontrastierung mit  
OsO<sub>4</sub>. Der Maßstab ist  
aus der Dokumenta-  
tionsleist ersicht-  
lich.

schwer von der umgebenden Kunststoffmatrix zu unterscheiden, da die mittleren Ordnungszahlen beider Komponenten sehr ähnlich sind (Abb. 1). Eine Möglichkeit, den Kontrast im Bild zu verbessern, besteht darin, die mittlere Ordnungszahl einer von beiden zu erhöhen (Abb. 2).

Aus der medizinischen und biologischen Forschung ist die Kontrastierung mit  $\text{OsO}_4$  bekannt (REIMER & PFEFFERKORN 1977). FOSTER (1981) benutzte  $\text{OsO}_4$  zur Kontrastierung von organischer Substanz in Ultradünnschnitten. Diese Methode ist auch auf die vorliegenden kunststoffgetränkten Proben anwendbar. Osmium-Atome diffundieren vorzugsweise in organische Substanz und werden dort gebunden, während andere Materialien weniger kontaminiert werden. Die Differenz der mittlere-



Abb. 2: Wurzelschnitt aus einer Kuebienaprobe mit  $\text{OsO}_4$ -Kontrastierung

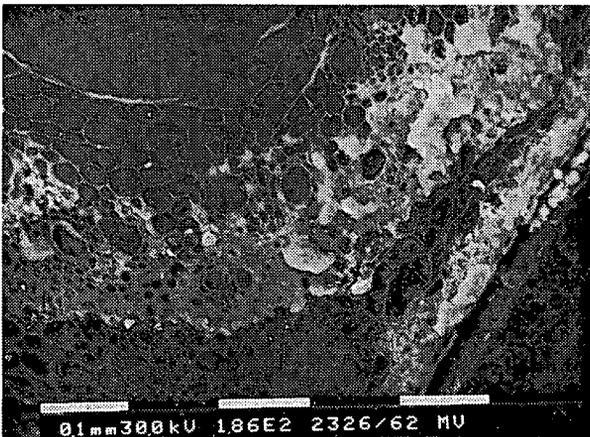


Abb. 3: Detailauschnitt aus Abb.2

ren Ordnungszahlen wird also größer und der Kontrast, wie in Abb. 2 an einem Wurzelanschnitt zu sehen ist, erheblich besser. Die Einlagerung von Osmium ist so selektiv, daß bei stärkerer Vergrößerung auch feine Strukturen der organischen Substanz deutlich sichtbar werden (Abb. 3).

Wird allerdings eine Probe mit der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse untersucht, so wirkt sich eine Kontrastierung mit  $\text{OsO}_4$  nachteilig aus; Röntgenemissionslinien des Osmiums überlagern die Linien anderer Elemente und beeinträchtigen deren Identifikation stark. Es ist daher abzuwägen, ob eine Kontrastierung mit  $\text{OsO}_4$  notwendig ist.

### Schlußbemerkung

Durch die Kombination von Präparationstechniken der Bodenmikromorphologie und Verfahren, die im elektronenoptischen Bereich biologisch-medizinischer Forschung eingesetzt werden, ist es möglich, in VESTOPAL konservierte Bodenproben für REM-Untersuchungen bereitzustellen. Bodenproben können mit den vorgestellten Methoden, die sich in der Praxis bewährt haben, schnell und einfach für das REM vorbereitet werden.

Herrn Prof. Dr. R. BLASCHKE möchten wir für seine Beratung und Unterstützung sowie die eröffnete Möglichkeit, am REM zu arbeiten, herzlich danken.

### Literatur

- ALTEMÜLLER, H.-J. (1962): Verbesserung der Einbettungs- und Schleiftechnik bei der Herstellung von Bodendünnschliffen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde., 99, (144), 164-177
- FOSTER, R.C. (1981): Localization of organic materials in situ in ultra thin sections of natural soil fabrics using cytochemical techniques. In: BIRDOM, E.B.A. (Ed.): Submicroscopy of soils and weathered rocks. Pudoc, Wageningen 309-318
- PFEFFERKORN, G. (1977): Das Rasterverfahren in der Elektronenmikroskopie. BEDO, Münster, 10, 141-174
- REIMER, L. & G. PFEFFERKORN (1977): Rasterelektronenmikroskopie. 2. Aufl. Berlin, 282 S.
- SCHIEFER, J. (1981): Bracheversuche in Baden-Württemberg. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landespflege in Baden-Württemberg. 22
- SCHREIBER, K.-F. (1977): Zur Sukzession und Flächenfreihaltung auf Brachland in Baden-Württemberg. Verh. Ges. Ökol. V, Göttingen 1976, 251-263
- SCHREIBER, K.-F. (1980a): Entwicklung von Brachflächen in Baden-Württemberg unter dem Einfluß verschiedener Landschaftspflegeverfahren. Verh. Ges. Ökol. VIII, Freising-Weihenstephan 1979. Göttingen, 185-203
- SCHREIBER, K.-F. (1980b): Brachflächen in der Kulturlandschaft. Ökologische Probleme in Agrarlandschaften. Dat. Dok. Umweltschutz, Sonderr. Umwelttagung 30, Univ. Hohenheim, 61-93



Die Entwässerung feuchter Bodenproben mit Hilfe der  
Trocknung im überkritischen Bereich (CP-Trocknung)

von

Tippkötter, R.<sup>+</sup>

Die mikroskopische Gefügeuntersuchung von Böden verlangt in den meisten Fällen wasserfreie Präparate. Um feuchte Bodenproben in den trockenen Zustand zu überführen, werden verschiedene Techniken angewandt.

- (1) a. Lufttrocknung im natürlichen Zustand  
b. Lufttrocknung nach Substitution des Porenwassers mit organischen Flüssigkeiten (z.B. Ethanol, Aceton)
- (2) Gefriertrocknung
- (3) CP-Trocknung

Erfahrungsgemäß muß mit unterschiedlich starker Artefaktbildung gerechnet werden. Im allgemeinen wird daher die Wahl des Trocknungsverfahrens von der Beschaffenheit des Probenmaterials und dem Untersuchungsziel abhängig gemacht. So verlangen z.B. elektronenoptische Gefügeuntersuchungen von Tonen wegen der meist stärkeren Vergrößerungen schonendere und damit in der Regel aufwendigere Trocknungstechniken als schwach vergrößernde lichteoptische Betrachtungen von Makroaggregaten.

Eine völlig artefaktfreie Trocknung ist nicht möglich. Die Gefügestörungen sollten aber unterhalb des Auflösungsvermögens des Beobachtungsinstrumentes liegen. Diese Forderung erfüllt die Lufttrocknung (1.a) wegen der auftretenden großen Oberflächenspannungen nur selten. Nach Substitution des Porenwassers (1.b) durch Ethanol oder Aceton ist die Artefaktbildung durch Herabsetzung der Oberflächenspannungen deutlich eingeschränkt. Mit Hilfe der Gefrier-

---

<sup>+</sup>Institut für Bodenkunde, Universität Hannover

trocknung (2) lassen sich auch Mikrogefüge störungsarm präparieren. Dies gilt allerdings nur für eine schmale Randzone von etwa 2 - 3 mm, so daß diese Methode auf sehr kleine Objekte beschränkt bleiben muß.

Mit der CP-Trocknung ist eine Methode verfügbar, die die Entstehung von Artefakten weitgehend ausschließt. Bei der CP-Trocknung von Böden wird wie folgt vorgegangen (s.a. Abb. 1):

- (a) Entwässerung der Probe durch Verdrängen mit Aceton
- (b) Überführung in die Druckkammer der Kritische-Punkt-Apparatur
- (c) vollständiger Austausch des Acetons gegen flüssiges  $\text{CO}_2$  (unter Druck)
- (d) anschließende Erwärmung auf  $38 - 40^\circ \text{C}$  und Druckerhöhung auf ca. 9 MPa, dabei Übergang in den überkritischen Bereich
- (e) unter Beibehaltung der erhöhten Temperatur Druckminderung auf Atmosphärendruck
- (f) Abkühlung auf Zimmertemperatur

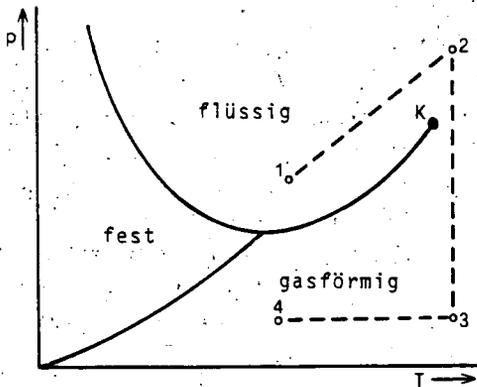


Abb. 1 Der Ablauf der CP-Trocknung im Phasendiagramm (K: Kritischer Punkt)

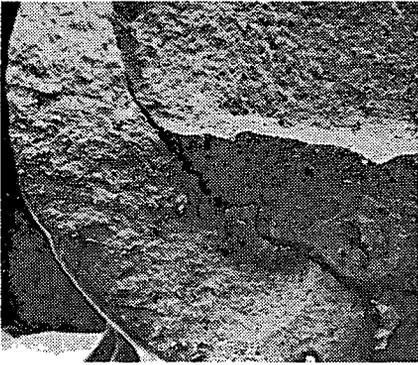
Wie aus Abb. 1 ersichtlich, werden mit dieser Trocknungsmethode keine Phasengrenzen durchlaufen. Dies bedeutet, daß die artefakterzeugenden Kräfte der Oberflächenspannung nicht auftreten. Dabei erlaubt die CP-Trocknung große Probenvolumina, die im Grunde nur durch die Maße der Druckkammer der Trocknungsapparatur begrenzt sind.

Nachteilig wirkt sich aus, daß der Weg über die Substitution des Wassers und des Acetons immer als mögliche Quelle für Strukturzerstörungen angesehen werden muß. Die durch die CP-Trocknung hervorgerufenen Schrumpfungen sind bei Böden meist so gering, daß sie vernachlässigt werden können. Greene-Kelly (1973) gibt für tonige Böden einen Volumenverlust von 2,5 - 7 % an. Eigene Messungen an einem aus einer Tonsuspension sedimentierten Unterkreideton ergaben 2,8 %, bei einem gepreßten Bentonit 5,4 % und im Löß (14 % Ton) keine Volumenveränderung.

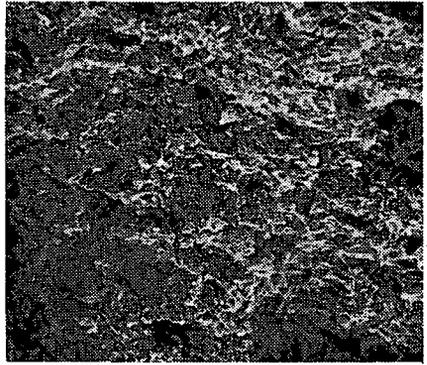
Die Abb. 2 und 3 zeigen die Ergebnisse verschiedener Trocknungsmethoden an einem Bentonit. Die Lufttrocknung führt zu Schrumpfungsrissen und einem starken Volumenverlust (44,7 %). Die Gefriertrocknung erzeugt einen deutlich sichtbaren Eiskristallisationskern. Allein die CP-Trocknung hinterläßt ein ungestörtes Gefügebild.

#### Literatur:

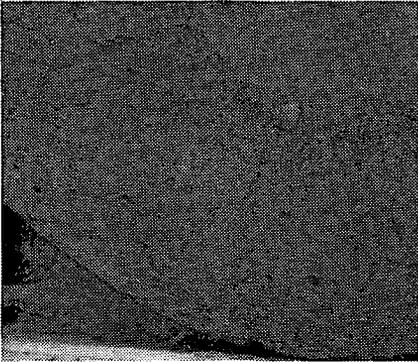
Greene-Kelly, R. (1973). The preparation of clay soils for determination of structure. - J. Soil Sci., 24: 277-283



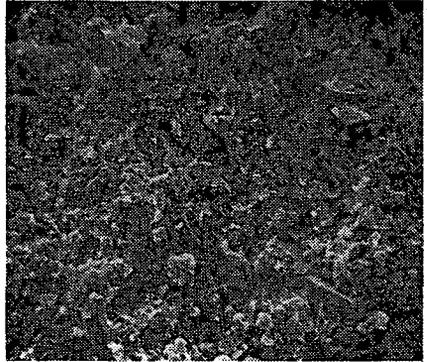
a. 1 mm



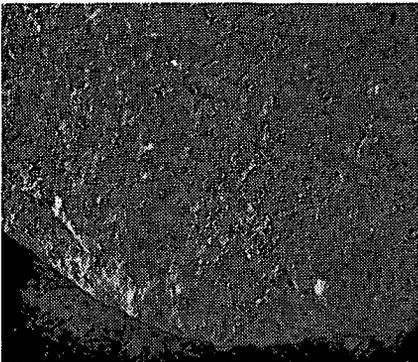
a. 20 μm



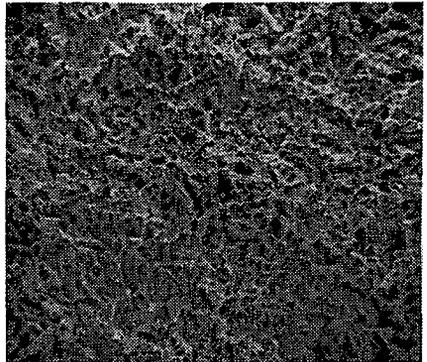
b. 1 mm



b. 20 μm



c. 1 mm



c. 20 μm

Abb. 2

Abb. 3

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von zylindrischen Bentonitsträngen nach a. Lufttrocknung, b. Gefriertrocknung, c. CP-Trocknung

Mikromorphologische Untersuchungen zur Verwitterung  
aufgehalteter Steinkohlenbergehaldenmaterialien

von  
Wiggering, H. \*)

**Zusammenfassung:**

Anhand mikromorphologischer Untersuchungen werden die Zersetzungsmechanismen bei der Verwitterung von Ton-/Siltsteinen ('BERGE' in der Bergmannssprache), die als Abfallprodukte im Steinkohlenbergbau anfallen und aufgehaldet werden, aufgezeigt.

Dünnschliffuntersuchungen ergeben für die Verwitterung der Ton-/Siltsteine typische Absonderungsmechanismen, während die Sandsteine vor allem durch Abbröckeln von Feinstpartikeln von den jeweils größeren Aggregaten zerfallen. Insgesamt bildet sich ein breccienartiges Gefüge aus, wobei die Intensität der physikalischen Zersetzung von der Verdichtung des Materials bei der Aufschüttung und durch die Materialzerkleinerung (Selbstdichtungseffekt) und von der Anwesenheit aufweitbarer Tonminerale (Röntgendiffraktometeranalysen) abhängt.

**1.) Einleitung**

Die folgenden Ausführungen der mikromorphologischen Untersuchungen zur Verwitterung aufgehalteter Berge sind Teiluntersuchungen des Projektes "Bergeentsorgung und Umweltschutz" des Kommunalverbandes Ruhrgebiet, durchgeführt an der Universität-Gesamthochschule Essen von der Arbeitsgruppe 'Haldenökologie'.

Bei der Rohförderung im Steinkohlenbergbau fallen außer der Kohle die Nebengesteine der Kohlenflöze an, die in der Bergmannssprache allgemein als BERGE bezeichnet werden. Der Bergeanteil an der Rohförderung beträgt ca. 47% (Ruhrkohle AG 1981); die Berge werden größtenteils als Abfallprodukte aufgehaldet. Die Probleme im Zusammenhang mit der Aufhaldung erstrecken sich bis hin zur Wiederurbarmachung und Rekultivierung.

---

\* Fach Geologie, Universität - GHS Essen, Postfach 6843  
4300 Essen 1

Als Grundlage für von der Arbeitsgruppe 'Haldentkologie' durchgeführte pflanzensoziologische und -physiologische Untersuchungen zur Haldenbegrünung dienten die folgenden Ausführungen zu den Vorgängen der Verwitterung und Bodenbildung auf den Halden, die u.a. mikromorphologische Untersuchungen einschließen.

## 2.) Material und Methoden

In Abhängigkeit von der geologischen Situation beim Abbau und von der Aufbereitung lassen sich die Berge in verschiedenen klassierte Anteile an:

Flotationsbergen	<0,75mm
Feinbergen	- 10mm
Grobbergen	10 - 120mm

unterteilen.

Diese unterschiedlich fraktionierten Materialien fallen getrennt voneinander an, werden aber bei einer Zwischenlagerung miteinander vermischt und als ungeordnetes Bruchwerk stark verdichtet aufgehaldet.

Die Berge setzen sich petrographisch folgendermaßen zusammen (ergänzt nach SCHÖNE-WARNEFELD 1973):

Ton-/Siltsteine	50-70 Vol.-%
Sandsteine	20-40 Vol.-%
kohlestreife Tonsteine u. Kohle	5-15 Vol.-%

Daraus ergibt sich ein Mineralbestand (ergänzt nach SCHÖNE-WARNEFELD 1973):

Tonminerale (hauptsächl. Illit)	50-75 Vol.-%
Quarz	15-30 Vol.-%
Karbonate	2-10 Vol.-%
Pyrit und Markasit	ca. 1 Vol.-%
kohlige Substanzen	5-10 Vol.-%
und untergeordnet Chloride und Sulfate.	

Um einen zeitlichen Verlauf der Verwitterung aufzuzeigen, wurden zum einen Frischberge (Schachanlage Ewald, Herten), zum anderen Berge unterschiedlich alter Aufhaldungen (Hoppenbruch, Herten/4 Jahre; Hugo-Ost, Gelsenkirchen/40 Jahre; Maximilian, Hamm/70 Jahre) herangezogen, die von ihrer chemisch-petrographischen Zusammensetzung her (s. Vollanalysen WIGGERING 1984) vergleichbar waren.

Zur Differenzierung des Verwitterungszustandes der Materialien der unterschiedlich alten Aufhaldungen wurde zusätzlich zu detaillierten Geländeaufnahmen eine Entnahme ungestörter Proben für die Dünnschliffanfertigung für mikromorphologische Untersuchungen erforderlich. Da eine Entnahme mittels Probenstechzylindern u.ä. bei dem unterschiedlichst fraktionierten, z.T. sehr

groben Material nicht möglich war, wurden die Proben trotz z.T. großer Porenhöhlräume und Wassergehalten bis zu 20% in situ durch Eingießen mit Kunstharz entnommen. Als Kunstharzansatz wurde Vestopal 120L benutzt, als Härter Butanox M50 und Cobalt-Octoat NL49P als Beschleuniger. Da dieser Kunstharzansatz in Anwesenheit von Wasser nicht polymerisiert, wurde der Untergrund vor dem Zugeben des Kunstharzes mit Tetrahydrofuran imprägniert (s. WIGGERING & RÖTTGES 1983).

Die Entformungszeit der beim Eingießen nicht räumlich begrenzten Proben hing dann von den jeweiligen äußeren Bedingungen ab, wobei sich das dunkle Bergematerial aufgrund der Insolation oberflächlich z.T. bis 60°C aufgeheizt hatte. Durch stufenförmiges Abstechen wurden die Profile durchgehend beprobt. Die Proben wurden durch Ausstechen oder Ausgraben entnommen und im Anschluß an Nachtempern, Schneiden und Nachimprägnation zu Beseitigung der Resthöhlräume der Dünnschliffanfertigung zugeführt (die Dünnschliffe wurden in der Präparation des Geol. Inst. der Ruhr-univ. Bochum angefertigt).

Die Schliffe wurden mikroskopisch ausgewertet; z.T. durch Rasterelektronenmikroskopaufnahmen ergänzt. Zur Erfassung der Verwitterungsmechanismen wurden u.a. Verwitterungsversuche unter definierten Bedingungen im Klimaschrank durchgeführt und detaillierte Röntgendiffraktometeranalysen zur Mineralverwitterung, vor allem zu den Tonmineralum- und Neubildungen gemacht.

### 3.) Ergebnisse

Entsprechend der Schlüßtechnik bei der Aufhaldung und der Bergesamensetzung ergeben sich auf den Halden bereits vor Einsetzen der Verwitterungsvorgänge und damit der Bodenbildung häufig nicht horizontgebundene Differenzierungen. Unter der Einwirkung und in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit der Atmosphärien bilden sich dann auf den Halden unterschiedlich mächtige Verwitterungshorizonte aus. Zur detaillierten Differenzierung und Definition wurden die Profile mit Dünnschliffen belegt (Abb.1).

Danach lassen sich die Haldenprofile bis zu 20-30 cm Tiefe grundsätzlich in zwei Verwitterungshorizonte unterteilen; tiefer folgen unverwitterte bzw. nur wenig verwitterte Materialien.



Abb.1 Verwitterungsprofil; stufenförmig mit Dünnschliffen belegt (Halde Hoppenbruch, Herten)

Oberflächlich beobachtet man in einem solchen Haldenprofil einen ca. 4-5 cm, max. 10 cm mächtigen Horizont mit vorherrschend physikalischer Verwitterung. Verwitterungsversuche im Klimaschrank (WIGGERING 1984) zeigen, daß bei dem hohen Ton-/Siltsteinanteil dabei vor allem den Trocknungs-Befeuchtungs-Wechseln Bedeutung zukommt, d.h. das Gestein zerfällt hauptsächlich durch den ständigen Wechsel von Schrumpfung der Partikel bei der Austrocknung und Ausdehnung bei der Wiederbefeuchtung.

Die z.T. schon makroskopisch zu beobachten Zersetzungsmechanismen setzen sich, wie Rasterelektronenmikroskopaufnahmen zeigen, bis in den Mikrobereich fort. Die leichter zersetzbaren Ton-/Siltsteine zerfallen vor allem aufgrund von Absonderungsvorgängen splittig-plattig, wobei die einzelnen Absonderungsaggregate in ihrer äußeren Form häufig noch ineinander passen (WIGGERING 1984: 92, Abb.20). Bei diesem Zersetzen beobachtet man häufig eine Anordnung der Bergekomponenten in annähernd horizontaler Lage und ein In- bzw. Übereinanderschachteln der länglich ausgerichteten Bergeteilchen, daß der Hohlraum zwischen zwei nebeneinanderliegenden Bröckchen durch die darüber- bzw. darunterliegenden Aggregate verbaut wird und eine Art Verband wie bei einem Mauerwerk entsteht (WIGGERING 1984: 94, Abb.24).

Mit der Intensivierung des Zerfalls nimmt der Feinmaterialanteil (<2mm) zu (bis zu 87 Gew.-%; im Mittel 61 Gew.-%; SCHNEIDER 1983), damit verbunden ist eine Abnahme des Hohlraumanteils (von

25-30% auf 20-15%). Es entsteht eine dichte, nur schwer durchlässige Zersetzungsschicht (Selbstdichtungseffekt). Damit wird eine Tiefgründigkeit der physikalischen Verwitterung unterbunden, so daß die Vorgänge der physikalischen Verwitterung nur sehr oberflächlich ablaufen können.

Die Zersetzung der Sandsteine erfolgt hauptsächlich durch randliches Abbröckeln von Feinstpartikeln von den jeweils größeren Aggregaten, wobei die sich zersetzenden Aggregate immer einen deutlichen, dunklen Verwitterungsrand ( $\text{FeOOH}$ ) zeigen (WIGGERING 1984: 93, Abb.23). Die insgesamt verwitterungsresistenteren Sandsteine liegen meist als größere, sperrig gelagerte Einzelaggregate vor während die Ton-/Siltsteine entsprechend stärker zerkleinert sind, so daß sich insgesamt ein breccienartiges Gefüge ausbildet.

Vereinzelte beobachtet man im unteren Bereich dieses oberflächigen Zersetzungshorizontes eine deutliche Anreicherung von Feinmaterial (s. Abb.1), was zum einen schüttungsbedingt sein kann, zum anderen aber, wie die Dünnschliffuntersuchungen ergeben, z.T. durch Materialverlagerung zu erklären ist.

Unter diesem oberflächigen Zersetzungshorizont folgt ein Profilverbereich, wo die Berge nur noch äußerst bedingt mechanisch zersetzt sind. Das Gefüge ist hauptsächlich von der Schütttechnik, vor allem von der Verdichtung bei der Schüttung geprägt. Größere Ton-/Siltsteinkomponenten sind zwar z.T. in sich zerstört, können aber aufgrund der durch die Verdichtung bedingten engen Lagerung nicht zerfallen, sondern halten ihre äußere Struktur bei. Daraus ergibt sich ein deutlich geringerer Anteil an Feinmaterial (der Mittelwert liegt bei 36 Gew.-%; SCHNEIDER 1983).

In diesem unteren Verwitterungsbereich herrschen die chemischen Vorgänge vor. Auf Bruchflächen sind Halit, Gips, Thenardit und z.T. Magnesiumsulfate und Jarosit als dünne Beläge auf den Bruchstückoberflächen wieder ausgefällt. Diese Salzausfällungen sind teils als Auswaschungen aus den durch hoch salzhaltige Formationswässer imprägnierten Bergen zu erklären (Chloride), teils z.B. auf die Pyritverwitterung zurückzuführen (Sulfate).

Von entscheidendem Einfluß bei den Zersetzungsvorgängen bzw. -mechanismen ist die Tonmineralzusammensetzung bzw. sind die Tonmineralum- und Neubildungsvorgänge, wobei vor allem die Bildung aufweitbarer Tonminerale von Bedeutung ist. Die Röntgendiffraktometeranalysen ergaben für die Frischberge eine Tonmineralzusammensetzung von Illiten, Chloriten und Kaoliniten.

Im Verwitterungsverlauf bildet sich während eines zeitlich begrenzten Verwitterungsstadiums in Wechselwirkung mit den Salzauswaschungen Talk (NEUMANN-MAHLKAU & WIGGERING 1983).

In den älteren Bergen sind korrelierbar mit dem Zersetzungsgrad der Ton-/Siltsteine und den pH-Bedingungen durch Verwitterung gebildete randlich aufweitbare Illite mit montmorillonitischen Eigenschaften und Smektiten röntgenologisch nachzuweisen. Durch die Neubildung dieser aufweitbaren Tonminerale sind die Bedingungen für eine Intensivierung des physikalischen Zerfalls, wie z.B. die Absonderungsmechanismen, gegeben.

Entsprechend sind die Verwitterungsprofile der älteren Aufhaldungen bereits nach ca. 40-50 Jahren als Rohboden anzusprechen.

#### 4. Literatur

Neumann-Mahlkau, P. & Wiggering, H. (1983): Authigene Bildung von Talk während der Verwitterung von Ton-/Siltsteinen des Ruhrkarbons. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1983/9: 557-560; Stuttgart.

Ruhrkohle AG (1981): Fragen zur Bergwirtschaft. - 51S.; Anlage; Essen.

Schneider, S. (1983): Bodenkundliche Untersuchungen zur Rekultivierung von Bergehalden im Ruhrgebiet. - 6 S.; Arbeitsheft zum Kolloquium über technisch-ökologische Untersuchungen des Kommunalverbandes Ruhrgebiet zu Fragen der Rekultivierung von Bergeschüttungen (22.9.83); Essen.

Schöne-Warnefeld, G. (1973): Geotechnische Probleme bei der Lagerung und Verwendung von Gruben- und Waschbergen. - Bund dt. Baumeister, Architekten und Ing. e.V., Ortsgruppe Witten, Festschrift: 4-9; Witten (Sonderdruck u. Vortrag).

Wiggering, H. (1984): Mechanismen bei der Verwitterung aufgehaldeter Sedimente (Berge) des Oberkarbons. - Diss. Univ.-GHS Essen, 230 S., 60 Abb., 26 Tab.; Essen.

Wiggering, H. & Röttges, J. (1983): Entnahme von ungestörten Bodenproben aus angeschütteten Bergematerialien (Halden) zur Anfertigung von An- und Dünnschliffen. - Der Präparator 29/1: 19-21; Bochum.

Referate  
der  
Sitzung der Arbeitsgruppe

B O D E N E R O S I O N

in  
FREISING-WEIHENSTEPHAN

am  
7. und 8. Juni 1984



**NÄHRSTOFFABTRÄGE NACH DER ERNTE VON WINTERGERSTE UND RAPS  
DURCH OBERFLÄCHENABFLUSS UND BODENABTRAG**

-- Kurzfassung --

von

Auerswald, K. <sup>†</sup>)

Es wurden Beregnungsversuche mit einem Feldregensimulator nach Schwerdtmann et al. (1983) durchgeführt. Im Abfluß wurden die gelösten Gehalte an K, Ca, und P bestimmt. Die Abträge wurden auf ihre CAL-P- und -K-Gehalte hin untersucht. Der verwendete Regner ist für die Untersuchung gelöster und gebundener Nährstoffe besonders geeignet, da seine Düsen einen Regen produzieren, dessen kinetische Energie nahe an künstliche Regen gleicher Stärke herankommt (Meyer, 1958). Die Lösung von P hängt sehr stark von der kinetischen Energie des Regens ab (Ahuja et al., 1982), wie dies auch für den Abtrag und damit für die gebundene Nährstoffe zutrifft. Daher können nur unter der Voraussetzung eines vergleichbaren Regens Parallelen zu Nährstoffabträgen natürlicher Niederschläge gezogen werden.

Beregnet wurden auf 2 Lößstandorten im Raum Freising verschiedene Bearbeitungszustände nach der Wintergersten- (WG-) bzw. Rapsernte. Nach WG wurden die Stadien Stoppel mit bzw. ohne Stroh, gefräst mit bzw. ohne Stroh und gegrubbert quer bzw. längs zum Hang beregnert. Die Beregnungsergebnisse sind bei Auerswald (1984) dargestellt. Die Gehalte an gelöstem P und K waren davon abhängig, ob das Stroh am Feld verblieb. Beim P ist dies möglicherweise auf Meßfehler durch die stark gelb gefärbten Strohextrakte zurückzuführen, die die Farbsättigung der P-Molybdat-Komplexe verstärken könnten. Durch die Strohabfuhr ließen sich bei den gelösten Nährstoffen die Abträge halbieren. Dies war unabhängig davon, ob und wie bearbeitet wurde. Auf die Verluste an gebundenem P und K wirkte sich eine Bearbeitung steigernd aus, da sowohl die Bodenabträge erhöht wurden als auch die P-Gehalte leicht anstiegen. Dies ist möglicherweise auf die rauhere Oberfläche (Ahuja et al., 1983) oder auf das Hocharbeiten P-reicherer Materials zurückzuführen. Die K-Gehalte nahmen dagegen durch die Bearbeitung leicht ab, vor allem da durch sie ein Teil des Strohs dem direkten Kontakt mit dem Abfluß entzogen wurde. Werden die Verluste nach der Ernte an Hand der Regenerosität (R-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung; Schwerdtmann et al., 1981) auf natürliche Verhältnisse über-

---

<sup>†</sup> Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, D-8050 Weihenstephan  
jetzt: Bayer. Geolog. Landesamt, Heßstr., D-8000 München 40

tragen, so ergeben sich bei unbearbeiteter Stoppel für die Periode 30.7.-30.9. P-Verluste von 60g/ha, unabhängig vom Verbleib des Stroh. Bei Bearbeitung, gleich ob gefräst oder gegrubbert, ob mit oder ohne Stroh, stiegen die P-Verluste auf 120-130g/ha. Die K-Verluste lagen bei Verbleib des Stroh zwischen 1.6 und 1.8kg/ha und bei Strohabfuhr zwischen 0.6 und 0.9kg/ha. Eine Bearbeitung mit Fräse oder Grubber hatte praktisch keinen Einfluß.

Nach der Rapsernte wurden 4 Stadien des Ausfallrapses (10, 40, 80, 90% Rapsbedeckung), Pflugfurche und Saatbett der nachfolgenden Winterung berechnet. Mit zunehmender Pflanzendecke sanken sowohl die P- und K-Gehalte in Abfluß und Abtrag, als auch die Gesamtverluste sehr stark ab. Dies ließ sich gut durch lineare Beziehungen beschreiben ( $r=0.97-0.98$ ). Auch die von Grubbern über Pflug bis zur Saatbettbereitung zunehmende Einarbeitung und der Zersatz des Stroh verringerten die P- und K-Gehalte im Abfluß. Allerdings nahmen die P- und K-Gesamtabträge bei der Saatbettvariante wegen der hohen Bodenabträge und Abflüsse sprunghaft zu. Im Laufe der Entwicklung des Ausfallrapses sanken die standardisierten P-Gesamtabträge von 110 auf 2g/ha, stiegen durch die Pflugfurche wieder auf 40g/ha an und erreichten durch die Saatbettbereitung 950g/ha. Beim K war der Anstieg durch die Saatbettbereitung weniger ausgeprägt, da die zunehmende Strohverarbeitung sich stärker gehaltsmindernd auswirkte. Die K-Gesamtverluste sanken zunächst von 2.4 auf 0.06kg/ha und stiegen dann wieder auf 0.4 und 2.5kg/ha an.

#### Literatur

Abuja L., A. Sharpley, O. Lehman, 1982: "Effect of soil, slope, and rainfall characteristics on phosphorous in runoff", J. Environm. Qual. 11, 9-13

Abuja L., O. Lehman, A. Sharpley, 1983: "Bromide and phosphate in runoff water from shaped and cloddy surfaces", Soil Sci. Soc. Am. J. 47, 746-748

Auerswald K., 1984: "Die Bestimmung von Faktorenwerten der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung mit künstlichen Starkregen", Diss. Weihenstephan

Meyer L., 1958: "An investigation of methods for simulation rainfall on standard runoff plots and a study of drop size, velocity and kinetic energy of selected spray nozzles", Eastern soil & water manag. branch, USDA, Spec. public. 31

Schwertmann U., K. Auerswald, M. Bernard, 1983: "Methoden zur Messung des Bodenabtrags durch Wasser", Geomethodica 8, 87-116

Schwertmann U. & Mitarb., 1981: "Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser", BStmELF, München

Wirkung von Erosionsschutzmaßnahmen bei Mais

-- Kurzfassung --

von

Auerswald, K.<sup>\*)</sup>

Mit einem Starkregensimulator (Schwertmann et al., 1983) wurden in einem 3-stufigen Beregnungszyklus (Abb. 1) 6 verschiedene Maisanbauformen beregnet:

- Standardmais: 12 Pflanzen/m<sup>2</sup>, Saat längs zum Hang
- Spurlockerung: in den Fahrspuren; bis unter die Pflugsohle
- Oberflächenprofilierung: kleine, mit einem Spatenpflug geschaffene, versetzt angeordnete Sedimentationsbecken zwischen den Reihen
- Wintergersteneinsaat in den Fahrspuren (nach jeder 2. Reihe)
- Folienmais: 2-reihiges Folienlegegerät
- Folienmais mit Wintergersteneinsaat zwischen der Folie

BEREGNUNGSZYKLUS

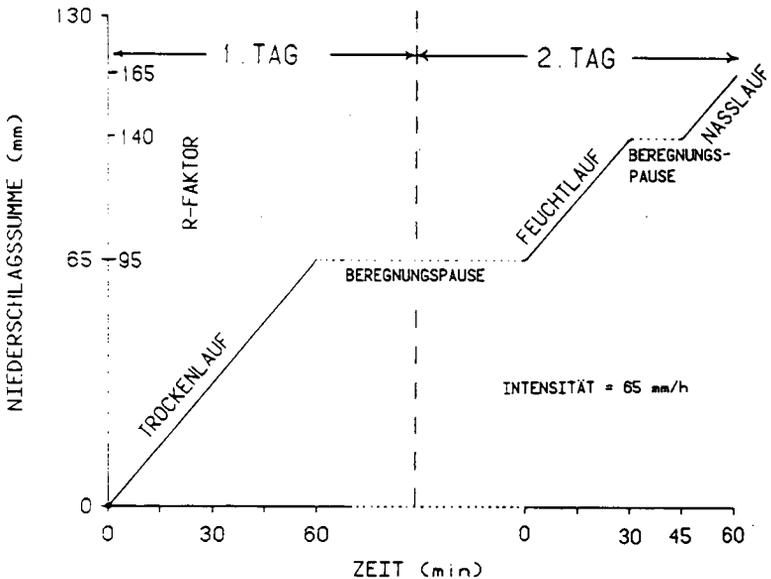


Abb. 1: Beregnungszyklus der Versuchsbergnungen

\* Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, D-8050 Weihenstephan  
jetzt: Bayer. Geolog. Landesamt, Heßstr., D-8000 München 40

Sowohl im Oberflächenabfluß (Abb. 2) als auch im Bodenabtrag kam es zu einer starken Differenzierung zwischen den Varianten. Die höchsten Bodenabträge traten beim Folienmais mit 25 t/ha.h auf, die niedrigsten bei Mais mit Wintergersteneinsaat (unter 1 t/ha.h). Aus den Abträgen wurden die Relativen Bodenabträge der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung errechnet (Auerswald, 1983). Sie lagen deutlich unter den von Wischmeier & Smith (1978) für Mais dieses Entwicklungsstadiums angegebenen Werten. Eine gute Übereinstimmung konnte dagegen zu neueren amerikanischen Werten (McGregor & Mutchler, 1982) gefunden werden.

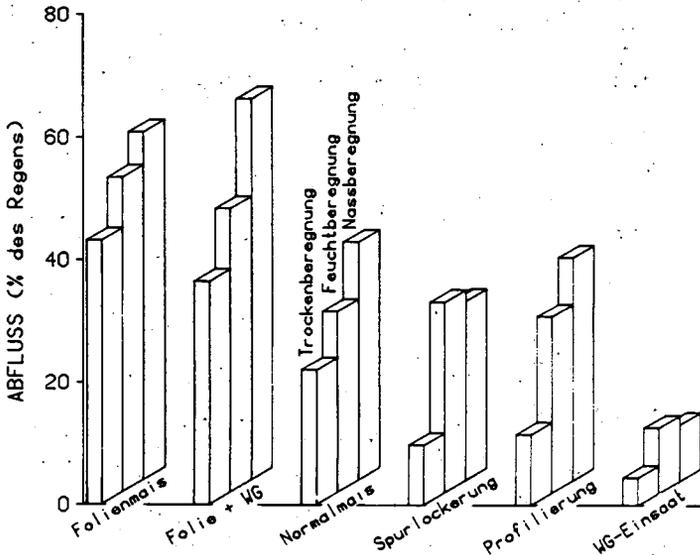


Abb. 2: Anteil des Oberflächenabflusses am Niederschlag

Literatur

Auerswald K., 1983: "Bestimmung der Relativen Bodenabträge mit Hilfe der Regensimulation", Mttg. Dt. Bodenk. Ges. 38, 635-636

McGregor K., C. Mutchler, 1982: "C-factors for no-till and reduced-till corn", Papers ASAE 82-2024

Schwertmann U., K. Auerswald, M. Bernard, 1983: "Methoden zur Messung des Bodenabtrags durch Wasser", Geomethodica 8, 87-116

Wischmeier W., D. Smith, 1978: "Predicting soil erosion losses - a guide to conservation planning", USDA, Agric. Handbook, No. 537

Vergleich der Regenenergie der in Südbayern eingesetzten  
Regensimulatoren unter einander und mit der natürlicher Starkregen

von

Becher, H.H.\*

Eimern definiert nach Horney und Wussow (beide zit. in Eimern (1972)) einen mindestens 10mm bringenden Regen als einen Starkregen, wenn dieser in Abhängigkeit von der Regendauer vorgegebene Maximalintensitäten überschreitet. Obwohl wegen der mit der Intensität zunehmenden Tropfengröße (z.B. Hudson, 1976) die Regenenergie mit der Intensität steigt, können Regen gleicher Intensität unterschiedliche Energien aufweisen, wenn sie in ihren Tropfenspektren von einander abweichen. Für den 'splash'-Mechanismus ist jedoch weniger die Gesamtenergie, als vielmehr die von den einzelnen Tropfen ausgehende Energie ausschlaggebend. Dies gilt besonders für simulierte Regen.

Als Aufnehmer für die Aufprall-Energie wird der dynamische Teil eines Lautsprechers verwendet, dessen Aufprall-bedingte Spannungsstöße in Anlehnung an Kowal et al. (1973) aufgezeichnet und ausgewertet werden. Im Labor erfolgte eine vorläufige Eichung der Ausschlaglänge (= Impulshöhe) gegen die Aufprall-Energie. Die Impulshöhen natürlicher und simulierter Starkregen wurden mittels entweder einer Schablone oder eines Digitalisieretableaus in 11 Klassen aufgeteilt und über die Eichbeziehungen in Regenenergie  $\langle J.m^{-2}.min^{-1} \rangle$  umgerechnet.

Die Regenenergien des von Karl und Toldrian entwickelten Regners, zuletzt während der Arbeitsgruppensitzung vorgestellt (Karl, 1984), des modifizierten Swanson-Regners des hiesigen Lehrstuhls für Bodenkunde - für beide unter Freilandbedingungen aufgezeichnet - und des modifizierten Laborregners von Gabriels (Auerswald et al., 1984) wurden mit energiereichen Perioden von Starkregen verglichen.

Obwohl die zeitliche Streuung um die errechneten Mittelwerte je Impulshöhenklasse mit bis zu 200% sehr beachtlich ist, zeigen die vorläufigen Ergebnisse, die in Abb. 1 zusammengefaßt sind, daß die hohen Energieanteile natürli-

\* Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, D-8050 Freising-Weihenstephan

cher Starkregen auf die großen Tropfen ( $\sim 3-6\text{mm}$ ) zurückzuführen sind, selbst wenn auch die kleinen Tropfen noch einen nicht zu vernachlässigenden Anteil aufweisen. Diese relative Energieverteilung wird am besten vom Swanson-Regner simuliert, der allerdings keine extrem großen Tropfen aufweist. Der mit unterschiedlichen Tropfenformern und Regenintensitäten geprüfte Laborregner weist zu wenig kleine Tropfen und daher in diesem Bereich erheblich zu niedrige Energieanteile auf, die höchstens den Anteilen extremer Starkregenereignisse entsprechen, während für den Bereich großer Tropfen eher zu hohe Anteile festgestellt wurden. Am ungünstigsten schnitt der Karl-Regner ab, der sich durch zu hohe Energieanteile - besonders in den drei kleinsten Klassen - und fehlende Energieanteile in den für einen Starkregen charakteristischen Klassen auszeichnet. Dies wird besonders deutlich beim Vergleich der Gesamtenergie dieses simulierten Regens ( $3,6\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ) mit dem der Starkregen ( $5,0\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Trotz des vorläufigen Charakters dieser Auswertung ist die Richtigkeit der aufgezeigten Tendenzen kaum anzuzweifeln. Die Auswertung der Regenereignisse dreier Jahre wird offen gebliebene Fragen klären.

#### Literatur:

- Auerswald, K., Becher, H.H., Vogl, W., und Hafez, M., (1984): Ein Laborregner zur Erodibilitätsbestimmung von Böden (K-Faktor). Z.f. Kulturtechnik u. Flurber. (im Druck)
- Eimern, J. van, (1972): Die Häufigkeit erosionsauslösender Stark- und Dauerregen in Freising-Weißenstephan. Bayer. Landw. Jb. 49, 918-926
- Hudson, N.W., (1976): Soil Conservation, 2<sup>nd</sup> Printing, reprinted. B.T. Batsford Ltd., London
- Karl, J., (1984): Eine transportable Erosionsmeßanlage. Mitt. DBG (dieser Band)
- Kowal, J.M., Kijewski, W., und Kassam, A.H., (1973): A simple device for analysing the energy load and intensity of rainstorms. Agric. Meteor. 12, 271-280

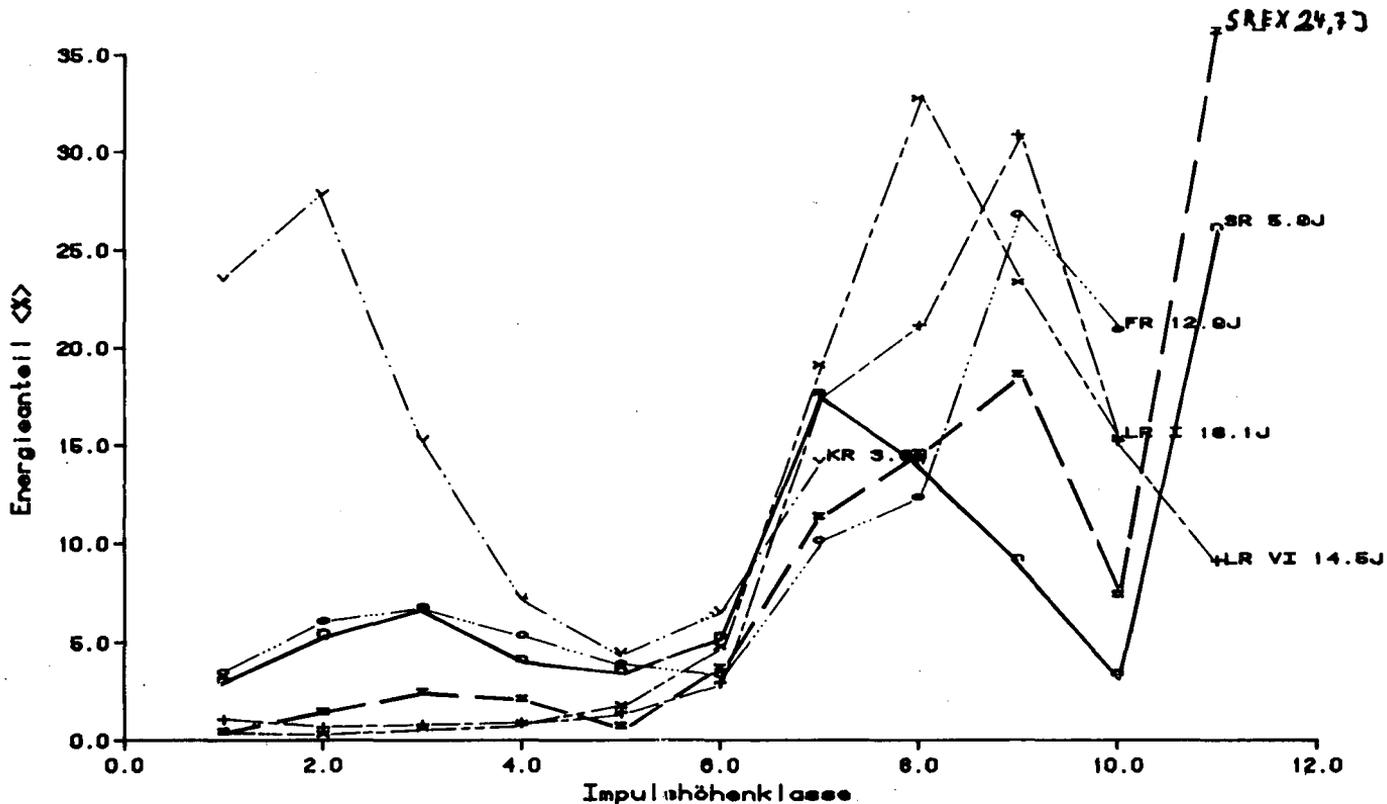


Abb. 1: Relative Anteile der einzelnen Impulshöhenklassen an der Gesamtenergie für Starkregen (SR), extremes Starkregenereignis (SREX), Swanson-Regner (62,5mm/h) (FR), Karl-Regner (50,0mm/h) (KR) und Laborregner mit Tropfenformer I bzw.VI (30mm/h) (LR I bzw. LR VI)



Beiträge der Landtechnik zur Erosionsverminderung

von  
Estler, M.<sup>+)</sup>

Die Bodenerosion stellt weltweit ein sehr ernst zu nehmendes Problem dar. Daß auch unser Produktionsraum von diesen Entwicklungen nicht verschont blieb, ist auf einige wichtige Ursachen zurückzuführen:

- Die Anbauflächen attraktiver Reihenfrüchte wurden in den letzten Jahren erheblich ausgedehnt;
- Vor allem Silomais, Körnermais und Zuckerrüben werden in zunehmendem Maße im hängigen Gelände, d.h. auf besonders erosionsgefährdeten Standorten angebaut;
- Infolge moderner Bewirtschaftungsmaßnahmen ist eine schleichende Verschlechterung der Bodenstruktur und ein Rückgang des Gehaltes an wertvollen organischen Substanzen in der Ackerkrume festzustellen.

Es besteht daher kein Zweifel, daß es erforderlich ist, wirksame Erosionsschutzmaßnahmen durchzuführen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob neben anderen Disziplinen auch die Landtechnik in der Lage ist, einen wesentlichen Beitrag zur Durchführung von auf Dauer wirksamen Erosionsschutzmaßnahmen zu leisten. Es ist auch zu klären, in welchen Bereichen und mit welchen Maßnahmen hierfür echte Chancen bestehen.

Beeinflußbare Faktoren

Bei den Faktoren, die direkt beeinflußt werden können, handelt es sich im wesentlichen um pflanzenbauliche, landtechnische und betriebsorganisatorische Maßnahmen:

- Bodenbedeckung
- Bodendurchwurzelung
- Stabile Bodenstruktur
- Bearbeitung des Bodens
- Saat- und Pflegeverfahren
- Fahrspuren und Bodendruck
- Wasseraufnahmefähigkeit und Durchlässigkeit des Bodens
- Anteil erosionsgefährdeter Kulturen in der Fruchtfolge.

+) Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan

Ein wesentliches Ziel aller dieser Maßnahmen besteht darin, das Niederschlagswasser in der Krume möglichst rasch zum Versickern zu bringen oder es in seinem Abfluß hangabwärts zu bremsen. Die Erfahrungen zeigen, daß in der Regel mehrere dieser Faktoren zusammenwirken müssen, um einen langfristig wirksamen Erosionsschutz zu bieten.

#### Landtechnische Maßnahmen

Besonders erfolgversprechende Ansatzpunkte bei der Anwendung landtechnischer Maßnahmen zum Erosionsschutz bestehen vor allem in drei Bereichen: Der Grundbodenbearbeitung, der Feldbestellung und bei den Pflegemaßnahmen.

Bei der Grundbodenbearbeitung kann das Anlegen einer rauhen Pflugfurche und damit einer Feldoberfläche mit deutlichen Niveau-Unterschieden dazu beitragen, vor allem während der Wintermonate den oberflächlichen Wasserabfluß abzubremsen und den Bodenabtrag hangabwärts zu reduzieren. Aus heutiger Sicht ist jedoch zu prüfen, ob auf erosionsgefährdeten Standorten nicht generell auf eine wendende Pflugfurche verzichtet und statt dessen ein gezielter Einsatz des Schälgrubbers oder von Kurzgrubber/Zapfwelleneggen-Kombinationen erfolgen sollte. Mit diesen Geräten gelingt es, Ernterückstände (z.B. Getreidestroh, Maisstroh, etc.) intensiv und oberflächennahe in den Boden einzumischen. Dadurch wird in den oberen, besonders erosionsgefährdeten Bodenschichten eine gewisse Stabilisierung des Bodengefüges erreicht. Außerdem kann gleichzeitig mit der Stroheinarbeitung eine Zwischenfruchtbestellung vorgenommen werden.

Erfahrungsgemäß kann auch die Unterbodenlockerung als meliorative Maßnahme dazu beitragen, ein rasches Abführen des Oberflächenwassers in tiefere Bodenschichten herbeizuführen.

Im Rahmen der Feldbestellung bietet sich vor allem im Maisanbau an, ein relativ grob scholliges Saatbett anzulegen. Diese relativ rauhe Bodenoberfläche bietet nicht nur einen gewissen Erosionsschutz, sondern verhindert auch Bodenverschlammung und -verkrustung.

Bei den Pflegemaßnahmen konnten bereits gute Erfolge mit einer Tieflockerung der Schlepperfahrspuren (ca. 25 cm Lockerungstiefe), sowie mit einer gezielten Oberflächenprofilierung zur künstlichen Aufrauung der Ackeroberfläche erreicht. Darüberhinaus bieten moderne Hackmaschinen mit Federzinken-Hackwerkzeugen die Möglichkeit, in wachsenden Kulturen eine Aufrauung des Bodens zwischen den Maisreihen zu erreichen.

### Kombinierte Maßnahmen

Die vorliegenden Erfahrungen und Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß zwar pflanzenbauliche und landtechnische Einzelmaßnahmen einen gewissen Erosionsschutz bieten können, eine Kombination von beiden Maßnahmen jedoch besonders erfolgversprechend ist. Hierzu wird unter unseren Produktionsbedingungen ein gezielter Anbau von Zwischenfrüchten durchgeführt. Hierfür eignen sich vor allem die nicht winterharten Zwischenfrüchte, die während des Winters infolge der Frostwirkung absterben. Diesem Pflanzenmaterial kommt die Aufgabe zu, einen wirksamen Schutz der Bodenoberfläche durch die oberirdische Stengel- und Blattmasse zu erreichen, sowie gleichzeitig eine Stabilisierung des Bodengefüges infolge der intensiven Durchwurzelung sicherzustellen. Ein umfangreiches Sortiment von geeigneten Pflanzenarten steht bereits zur Verfügung.

Für eine Einsaat von Reihenfrüchten (insbesondere von Mais) in derartige Zwischenfruchtbestände eignen sich folgende landtechnische Maßnahmen:

### Zweiphasiges Verfahren

- In einem ersten Arbeitsgang wird mittels Bodenfräse, Rotor- oder Kreiselegge der abgestorbene Pflanzenbestand oberflächennahe in den Boden eingemischt. In einem zweiten, daran anschließenden Arbeitsgang erfolgt die Aussaat des Maises mit normalen Einzelkorn-Sägeräten. Bei besonders voluminösem Pflanzenmaterial kann die Verwendung von Scheibenscharen zweckmäßig sein.

### Einphasige Verfahren

- Für das Streifenfrässaat-Verfahren wird eine Kombination von Bodenfräse und Einzelkorn-Sämaschine verwendet. Bei der Bodenfräse ist die Messeranordnung derart gewählt, daß lediglich 25 cm breite Streifen im Abstand der späteren Saatreihen in die Zwischenfruchtbestände gefräst und dabei das organische Material mit der Erde vermischt wird. Die angebaute Einzelkorn-Sämaschine legt nachfolgend das Saatgut in diese Frässtreifen ab.
- Beim Schlitz-Frässaat-Verfahren wird prinzipiell die gleiche Maschinenkombination verwendet. Die Bodenfräse ist jedoch mit sogenannten "Schlitz-Fräsmessern" ausgestattet, die lediglich einen ca. 5 cm breiten Frässtreifen bearbeiten.
- Für die Direktsaat stehen derzeit zwei Varianten zur Verfügung: Das Säbelschar der Einzelkorn-Sämaschine wird ersetzt durch ein Doppelscheibenschar. Dieses schneidet einen senkrechten Schlitz durch den organischen Mulch in den unbearbeiteten Boden. In diese geöffnete Furche wird das Saatgut abgelegt. In einer zweiten Variante kann am Grundrahmen des Einzelkorn-Sägerätes je Reihe ein stark gewelltes Scheibensech (Waffel-Coulter-Scheibe) angeordnet sein. Diese

Scheiben lockern einen ca. 5 cm breiten Bodenstreifen, in welchen nachfolgend das Saatgut abgelegt wird.

- Noch relativ neu, jedoch ebenfalls schon praxiserprobt ist die Verwendung des für das Mulchfolien-Saatverfahren entwickelten Becher-Sägerätes. Die Becher stechen durch den Mulch in die unbearbeitete Bodenoberfläche ca. 5 cm tiefe Löcher. Im gleichen Arbeitsgang wird in diese Löcher das Maissaatgut abgelegt und von dem nachrieselnden Boden bedeckt.

Während die Direkt-Saatverfahren und der Einsatz des Becher-Sägerätes aus Gründen einer guten Bedeckung des Saatgutes mit lockerem Boden auf die leichten, humosen und gut krümelnden Böden beschränkt ist, können das Streifen- sowie das Schlitz-Fräsaaat-Verfahren nahezu bei allen Standort- und Bodenverhältnissen eingesetzt werden.

### Ergebnisse

Nach einigen, im Jahr 1983 durchgeführten Tastversuchen, wurde in der Aussaatperiode 1984 im wesentlichen das Streifen-Fräsaaat-Verfahren auf insgesamt 12 Standorten eingesetzt. Auf zwei Standorten wurde zusätzlich auch das Direktsaat-Verfahren angewandt.

Für den vorgesehenen Verfahrensvergleich werden im wesentlichen herangezogen: Feldaufgang, Pflanzenentwicklung, Ernteertrag, Bodentemperatur. Infolge des sehr verspäteten Frühjahres ist auf mehreren Standorten der Feldaufgang noch nicht abgeschlossen, auch die Temperaturmessungen müssen noch über einen gewissen Zeitraum weitergeführt werden. Untersuchungsergebnisse hierüber werden daher erst in einigen Wochen vorliegen können.

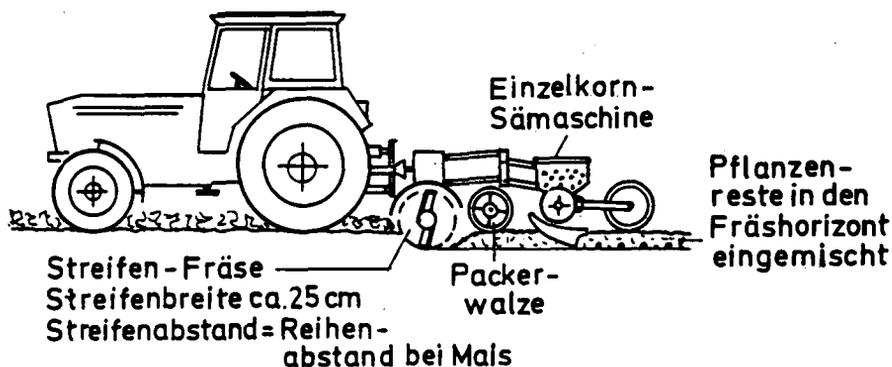
### Künftige Aufgaben

Obwohl man feststellen kann, daß bereits mehrere geeignete landtechnische Lösungen zur Erosionsverminderung in Reihenkulturen angeboten werden, bestehen insbesondere im Bereich der kombinierten Verfahren noch eine Reihe von offenen Fragen. Diese müssen einer Klärung zugeführt werden, wenn diese Verfahren langfristig den erwarteten Erfolg bringen sollen. Als vorrangige Probleme und Fragen sind festzuhalten:

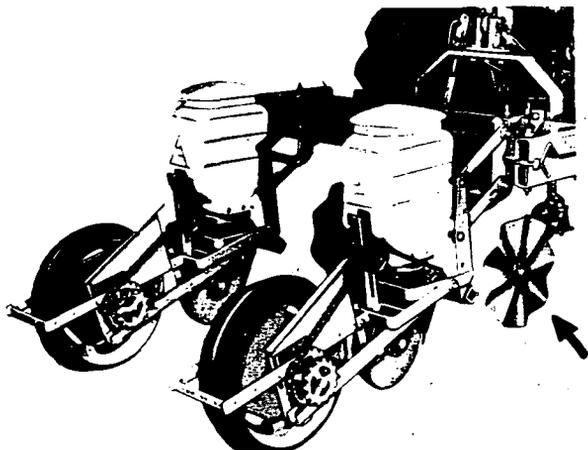
- Welche Zwischenfrucht-Arten sind besonders geeignet, durch ausreichendes Wurzelwachstum und Bildung oberirdischer Pflanzenmasse einen wirksamen Erosionsschutz herbeizuführen.
- Welches Mindestmaß an Bodenbearbeitung im Bereich der Saatreihen (Breite und Tiefe des bearbeiteten Bodenstreifens) wird benötigt, um dem Saatgut möglichst optimale Auflaufbedingungen zu bieten und gleichzeitig den Unkrautdruck, vor allem im Anfangs-Entwicklungsstadium von den Kulturpflanzen fernzuhalten.

- Sowohl während der Herbstmonate als auch im Frühjahr müssen im allgemeinen organische und mineralische Dünger ausgebracht werden. Deren Wirkung und Ausnutzung der Düngernährstoffe wird im allgemeinen deutlich verbessert, wenn diese Dünger in den Boden eingearbeitet werden. Dies kollidiert jedoch mit der Forderung, den oberflächlichen Pflanzenmulch als Erosionsschutzschicht zu erhalten. Hier werden neue Maßnahmen zu erproben sein.
- Aus ökonomischer Sicht ist die Forderung zu stellen, daß die Maschinenteknik möglichst vielseitig und kostengünstig einzusetzen ist. In den begonnenen Untersuchungen soll daher geklärt werden, ob standortspezifische Anforderungen und Einschränkungen im Hinblick auf die verwendbare Maschinenteknik bestehen.

## Streifen- Frässaat

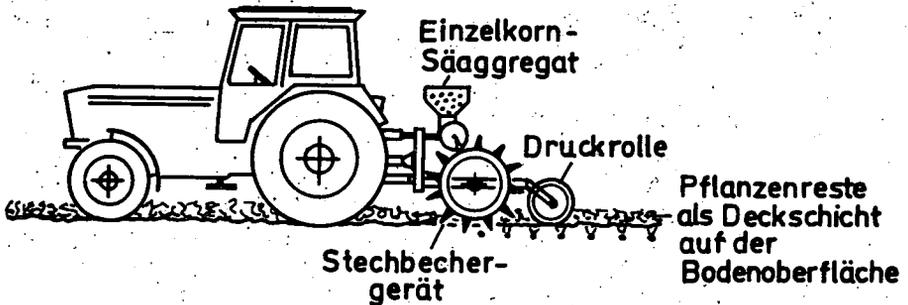


1. Bei der Streifen-Frässaat werden ca. 25 cm breite Streifen in die Zwischenfruchtbestände gefräst. In diese erfolgt die Saatgutablage mittels einer angebauten Einzelkorn-Sämaschine



2. Das Präparieren eines schmalen Saatstreifens durch stark gewellte Scheibenseche stellt eine einfache und funktionssichere Direktsaatmethode dar

## Direktsaat mit Stechbechergerät



3. Mit den Stechbechergeräten von Mulchfolien-Sämaschinen lassen sich die Samenkörner auch bei vorhandenem Pflanzenmulch in den Boden ablegen

Arbeitsgang	Einsatz möglich bei Zwischenfrucht	
	mit	ohne
Grobscholliges Saatbett	X	X
EK-Saat in eingemulchte Zwischenfrucht	X	
EK-Saat in Spurschächte	X	
Streifen-Frässaat	X	X
DS mit Scheibenschar-Sämasch.	X	X
DS mit Bechersägerät	X	X
DS mit Wellscheibensechen	X	X
Oberflächenprofilierung	(X)	X
Lockerung bei Pflege	(X)	X
Tiefenlockerung	(X)	X
Mulchfolien-Saatverfahren		X

4. Übersicht über die Eignung verschiedener landtechnischer Maßnahmen für den Einsatz in abgestorbenen Zwischenfruchtbeständen

Oberflächenabfluß und Nährstoffabschwemmung auf ausgewählten Acker- und Grünlandstandorten im Einzugsgebiet einer Trinkwassertalsperre

von  
Mollenhauer, K.\*

1. Einleitung

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zu Fragen des Nähr- bzw. Stör- und Schadstoffeintrags in Trinkwasserreservoirs durch Oberflächenabfluß von landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde versucht, auf verschiedenen Acker- und Grünlandstandorten im Einzugsgebiet einer Trinkwassertalsperre den in der Folge natürlicher Niederschläge entstehenden Oberflächenabfluß und mit diesem verfrachtete Stoffe zu erfassen und darzustellen mit dem Ziel, Grundlagen für notwendige Schutz- und Sanierungsmaßnahmen zu erarbeiten, die geeignet sind, Befruchtungen zu schützender Oberflächengewässer zu vermeiden bzw. am Ort der Entstehung oder nahebei wirkungsvoll zu reduzieren. Im Vordergrund der Untersuchungen stand dabei nicht so sehr die Frage, in welchem Maße innerhalb einer definierten Versuchsfläche Oberflächenabfluß ( $Q_0$ ) und Stoffverlagerungen stattfinden, sondern, wieviel sich letztlich über den Rand einer Nutzfläche hinaus bewegt und von dort - etwa über Gräben und Wege oder auch über eine Nachbarfläche hinweg - in ein Oberflächengewässer gelangt oder gelangen kann. Dargestellt wird in der Folge der erste Zeitabschnitt der Untersuchungen, die noch andauern.

2. Untersuchungsstandorte

Für die Untersuchungen wurden zwei Acker- und zwei Grünlandstandorte ausgewählt. Der Ackerstandort AI (Untersuchungszeitraum: 25.06.81-31.03.83) war im Versuchsjahr 1981 mit Mais bestellt, auf den im Spätherbst 1981 Winterweizen und im Herbst 1982 Wintergerste folgte. Die Bewirtschaftung der Fläche erfolgte mehr oder weniger hangparallel. Die Hangneigung beträgt 20 %; die Versuchsfläche ist schwach muldenförmig ausgebildet.

Auf dem Ackerstandort AII (Untersuchungszeitraum: 28.01.82-31.03.83) wurde im Herbst 1981 Wintergerste angebaut, danach im Sommer 1982 Sommerraps als Zwischenfrucht, der im Herbst als Grünfutter geerntet wurde; danach überwinterte

\* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur (Landeskultur) der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 3, D-6300 Gießen.

der Acker rauh gepflügt. Die Bewirtschaftung erfolgte hangabwärts. Der Hang hat eine Neigung von 11 %, die nach oben geringer wird, und ist im Querprofil gestreckt. Auffällig ist der im Gegensatz zu AI sehr dichte Oberboden mit geringer Gefügestabilität.

Beim Grünlandstandort GI (Untersuchungszeitraum: 25.06.81-31.03.83) handelt es sich um eine Umtriebsweide mit einer Hangneigung von 15 %, die nach oben geringer wird. Im Querschnitt ist der Hang leicht konkav ausgebildet, also schwach muldenförmig.

Der Grünlandstandort GII (Untersuchungszeitraum: 01.07.81-31.03.83) ist eine Mähweide, die lediglich im Herbst mit Jungvieh beweidet wurde. Die Hangneigung beträgt im unteren Hangbereich 20 % und steigt nach oben bis etwa 25 %. Auch im Querprofil ist die Versuchsfläche leicht muldenförmig ausgebildet. Außerdem zeichnet sich GII - im Gegensatz zu GI - im unteren Hangbereich durch ein tiefgründiges und relativ lockeres Kolluvium und einen sehr lockeren Oberboden aus.

### 3. Untersuchungsmethodik

Zur Erfassung von Oberflächenabfluß und Stofffrachten wurden jeweils im unteren Hangareal, im noch genutzten Bereich der Flächen Auffanganlagen installiert. Diese bestehen aus einem Auffangtrichter und zu diesem Trichter hinführenden, in den Boden geschlagenen Blechen, die den über eine Breite von 10 m den Hang hinunterfließenden  $Q_0$  zu dem Auffangtrichter leiten; von dort gelangt der Abfluß in Auffangbehälter, in denen die  $Q_0$ -Menge gemessen wird und Proben gezogen werden.

Die durch die Öffnungsbreite der Anlage vorgegebene Auffanglinie von 10 m wird als Übertrittskante betrachtet, auf die  $Q_0$ -Menge und Stofffrachten bezogen werden. Eine Zuordnung von  $Q_0$ -Menge und Stofffrachten auf ein definiertes Einzugsgebiet des Oberflächenabflusses - etwa auf die unterschiedlich großen topographischen, also maximalen Einzugsgebiete der vier Auffanganlagen - erschien nicht ratsam, da das jeweilige bei einem Abflußereignis tatsächlich  $Q_0$ -wirksame Einzugsgebiet infolge zufälliger und sich ständig verändernder Bedingungen auf der Fläche hinsichtlich seiner Größe ständig stark wechselt und weil darüber hinaus Unregelmäßigkeiten in der Mikromorphologie der z.T. bis etwa 200 m langen Hänge (AII: 80 m) mögliche seitliche Zu- und Abflüsse unkontrollierbar machen. Eine künstliche Begrenzung der Einzugsgebiete auf einen Hangausschnitt hätte den typischen Muldeneffekt (Konvergieren von Oberflächenwasser), dessentwegen die Standorte AI, GI und GII ausgewählt worden waren, verhindert. Wichtig war, daß die Flächen oberhalb der Auffanganlagen so bewirtschaftet wurden, wie dies auch ohne die Anlagen geschehen wäre. Im Fall der Grünlandstandorte mußten die Anlagen zum Schutz vor Weidevieh allerdings unmittelbar vor dem Auffangtrichter und den Leitblechen eingezäunt werden, so daß sich auf einem schmalen Streifen bei fehlender Verdichtung durch Viehtritt und Bewirtschaftung gewisse natürliche Lockerungserscheinungen im Oberboden ergeben könnten, die die gemessenen Abflüsse und Stofffrachten möglicherweise etwas erniedrigten, was bei

de sind als Ursachen vor allem nutzungsbedingte Standortfaktoren zu nennen: Während auf Acker die Rauzigkeit der Bodenoberfläche und ihre Wasserdurchlässigkeit infolge Bearbeitung, starke Rißbildung oder Verschlämmung im Laufe einer relativ kurzen Zeit häufig wechselt und zudem die Vegetationsdecke einem sehr starken Wechsel unterworfen ist, sind auf Grünland Veränderungen von Oberboden oder Vegetation weitaus weniger gravierend, d.h., die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß werden hier wesentlich weniger von anderen Faktoren überlagert als beim Acker.

### 5. Stoffabträge

Die vom Oberflächenabfluß verursachten Stoffabträge verhielten sich von Abflußereignis zu Abflußereignis sehr stark schwankend, sowohl hinsichtlich der Konzentrationen als auch hinsichtlich der Frachten. Bei den Konzentrationen ergab sich auch kein für eine bestimmte Jahreszeit typisches Bild, allerdings treten Einzelfälle, insbesondere im Zusammenhang mit Düngungsmaßnahmen, deutlich in Form von Konzentrationserhöhungen hervor, die aber meist bald wieder zurückgehen. Maßgeblich für das starke Schwanken von Konzentrationen und Frachten dürfte sein, daß die von Ereignis zu Ereignis häufig äußerst unterschiedlichen  $Q_0$ -Mengen einerseits unterschiedliche Verdünnungseffekte bewirken, andererseits aber auch durch wechselnde Schleppkraft den Transport bestimmter Stoffe unterschiedlich fördern können. Ein möglicherweise vorhandenes standort- und nutzungsspezifisches Verhalten von Konzentrationen und Frachten im Laufe eines Beobachtungszeitraums wird dadurch überdeckt.

Bei den Frachten (Stoffkonzentration multipliziert mit  $Q_0$ -Menge) wird jedoch immerhin erkennbar, daß die im allgemeinen höheren Abflüsse des Winterhalbjahres letztlich dann auch zu einem höheren Gesamtabtrag von Stoffen führen. Das macht die Bedeutung von Zeitabschnitten mit längeranhaltender hoher Bodenfeuchte bei hohen und zeitlich gut verteilten Niederschlägen deutlich. Andererseits hat sich gezeigt, daß auch die eher vereinzelt, vornehmlich im Sommer vorkommenden, hochintensiven und gleichzeitig ergiebigen Starkniederschläge nicht unerheblich für den Stoffabtrag sein können.

Ein solcher Niederschlag hat auf AI Ende Juni 1981 nach insgesamt 104 mm Niederschlag (incl. Vortage) und bei 555 l Oberflächenabfluß 31 % der mineralischen Stickstofffracht des gesamten Untersuchungszeitraums erbracht; ebenfalls auf AI erbrachte ein  $Q_0$  von 480 l im August 1981 nach 45 mm Niederschlägen 80 % der P-Fracht (Orthophosphat-P plus partikulär gebundenes P plus organisch gebundenes P) des gesamten Untersuchungszeitraums.

Insgesamt abgetragen wurden (inklusive einiger vorsichtiger Schätzungen bei unvermeidbaren Meßlücken) im jeweiligen Gesamtzeitraum (s.o.): an mineralischem Stickstoff (Nitrat-N plus Nitrit-N plus Ammonium-N) beim Grünlandstandort GI 5,1 g, bei GII 1,6 g, beim Ackerstandort AI 15,9 g, bei AII 52,9 g; an Gesamt-

deren Wertung und beim Vergleich mit den Ackervarianten zu berücksichtigen ist. Hilfreich ist hier ein häufiges künstliches Verdichten des Oberbodens im unmittelbaren Nahbereich der Auffanganlagen.

#### 4. Oberflächenabflüsse, Beziehung zu den Niederschlägen

Die vier Versuchsstandorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Oberflächenabflüsse recht deutlich. Dies gilt sowohl für die jeweiligen  $Q_0$ -Summen im gesamten Untersuchungszeitraum als auch für das Verhalten des  $Q_0$  innerhalb bestimmter Zeitabschnitte oder bei besonderen Niederschlagsereignissen. Dennoch ist eine gewisse Parallelität nicht zu übersehen, was auch die Anzahl der erfaßten Ereignisse betrifft. Deutlich wird das besondere Gewicht der Abflüsse im Winterhalbjahr, was auf Acker ohne oder mit nur gering ausgebildeter Vegetationsdecke zu entsprechendem Stoffabtrag führen kann. Im Falle des Standorts AII mit seiner starken Oberbodenverdichtung, auf dem in dem im Vergleich zu den anderen Standorten kürzeren Untersuchungszeitraum (s.o.) insgesamt  $24,3 \text{ m}^3$  Oberflächenabfluß gemessen wurde (pro Quartal zwischen  $2,4$  und  $9,0 \text{ m}^3$ ), sind allerdings auch die Abflüsse in den Sommermonaten bemerkenswert; die Abflüsse und Abträge von AII dürften ohnehin bereits in den Bereich des Extremen gehören. Der Ackerstandort AI erbrachte im gesamten Untersuchungszeitraum (s.o.) dagegen nur  $7,0 \text{ m}^3$  Oberflächenabfluß (mit Quartalsummen zwischen  $0,03$  und  $2,3 \text{ m}^3$ ). Wesentlich weniger wurde bei den Grünlandstandorten gemessen: bei GI im Gesamtzeitraum  $2,4 \text{ m}^3$  mit Quartalsummen zwischen  $0,03$  und  $0,9 \text{ m}^3$ , bei GII insgesamt  $0,7 \text{ m}^3$  mit Quartalsummen zwischen  $0,02$  und  $0,2 \text{ m}^3$ .

Betrachtet man die  $Q_0$ -Mengen der einzelnen Abflußereignisse, so fällt auf, daß ihre Häufigkeitsverteilungen teilweise beträchtlich linksschief sind, und zwar von Standort zu Standort unterschiedlich, daß also zahlreiche Ereignisse mit niedrigeren Einzelwerten auftraten bei geringerer Anzahl von Ereignissen mit höheren oder sehr hohen Einzelwerten.

Zur korrelationsstatistischen Analyse der Abhängigkeit der Oberflächenabflüsse von den Niederschlägen war daher eine Transformation der Einzelwerte erforderlich, und zwar in den natürlichen Logarithmus. Auf die gleiche Weise mußten die  $Q_0$ -verursachenden Niederschläge transformiert werden. Als  $Q_0$ -verursachender Niederschlag eines Abflußereignisses wurde bei der Berechnung der Korrelationen die Summe der unmittelbare auslösenden Niederschläge zuzüglich der Niederschläge der Vortage, die die Vorbefeuchtung des Bodens bewirkten, verwendet; Intensitäten blieben dabei unberücksichtigt.

Bei den Grünlandstandorten zeigten die Korrelationskoeffizienten eine deutlich bessere Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß als bei den Ackerstandorten. In den geprüften Zeiträumen (Quartalen oder Halbjahren) betragen die Korrelationskoeffizienten für GI und GII häufig mehr als  $r = 0,7$ . Dieser Wert wurde bei AI und AII in keinem Fall erreicht, die Korrelationskoeffizienten waren vielfach erheblich niedriger und häufig statistisch nicht gesichert. Für diese Unterschie-

Phosphor (Orthophosphat-P plus partikulär gebundenes P plus organisch gebundenes P) bei GI 2,7 g, bei GII 1,4 g, bei AI 88,4 g und bei AII 56,8 g. Die Grünlandstandorte unterscheiden sich von den Ackerstandorten durch wesentlich höhere Ammoniumanteile in der mineralischen Stickstofffracht, andererseits ist bei den Ackerstandorten der Anteil des partikulär gebundenen P an der Gesamt-P-Fracht besonders hoch.

Auffällig ist, daß die mittlere Konzentration des gesamten Untersuchungszeitraums - allerdings nur pauschal berechnet als Quotient aus den vorstehend genannten Gesamtfrachten und den entsprechenden Summen der Oberflächenabflüsse des gesamten Untersuchungszeitraums (s. Kap. 4) - beim mineralischen Stickstoff von Standort zu Standort kaum variiert; sie liegt sowohl auf den Acker- als auch auf den Grünlandstandorten bei etwa 2,2 mg N/l; beim Phosphor dagegen beträgt diese mittlere Konzentration des Gesamtzeitraums bei GI 1,1, bei GII 2,0 (höherer Anteil an partikulär gebundenem P), bei AI 12,6 (ohne Extremereignis: 3,5) und bei AII 2,3 mg P/l.

#### 6. Schlußbetrachtung

Insgesamt ist festzustellen: Unabhängig von der Wertung insbesondere der P-Konzentrationen und -Frachten unter den Gesichtspunkten der Trinkwassergewinnung, kann davon ausgegangen werden, daß die festgestellten Oberflächenabflüsse von GII in keinem Fall, die von GI und AI nur bei wenigen seltenen Ereignissen (besonders hoher  $Q_0$ ) ein entsprechend ausgebildetes Puffersystem im Bereich des Nutzflächenrandes (z.B. Rain mit hoher Infiltrationskapazität, Gehölzstreifen etc.) überschritten und Stoffabträge der ermittelten Höhe auf der Bodenoberfläche weitertransportiert hätten. Gegebenenfalls zusätzlich nötigen Schutz brächtige hier noch ein Wege- und Grabensystem, das Oberflächenabfluß nicht weitertransportiert, sondern zur Versickerung bringt. Im Falle von AII jedoch muß zum Aufbau eines Puffersystems und zu den genannten Schutzmaßnahmen auch eine Sanierung auf der Fläche selbst treten (Melioration, hangparallele Bewirtschaftung), die dann aber auch dem Erhalt kulturfähigen Bodens dienen würde.

## Verhinderung von Bodenerosion durch das Maispflanzverfahren

von

Scheffer, K. \*

Seit 1974 werden in Witzenhausen Versuche zum Auspflanzen von Mais durchgeführt. Ziel dieser Versuche ist, durch Verfrühung des Saattermines in (unbeheizten) Gewächshäusern das höhere Ertragspotential später Maissorten zu nutzen (SCHEFFER 1982).

Wesentliche Fortschritte im Hinblick auf eine für das Pflanzverfahren kostendeckende Steigerung der Erträge wurden jedoch erst erzielt, als erkannt wurde, daß mit jeder Verfrühung des Saatzeitpunktes eine photoperiodisch bedingte Ertragsdepression von 10 bis 20 dt Korn/ha verbunden ist und daß diese Depression durch Zusatzbelichtung verhindert werden kann (vgl. SCHEFFER, 1982; SCHEFFER et al 1984). Inzwischen sind weitere Erkenntnisse über die Optimierung des Belichtungsverfahrens gewonnen worden, die in Kürze veröffentlicht werden.

Das Auspflanzen des Mais ins Feld kann erst zu Beginn der sicher frostfreien Vegetationsperiode, d.h. in der zweiten Maihälfte erfolgen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, vor dem Bepflanzen des Feldes mit Mais eine Winterzwischenfrucht anzubauen. Diese wird mit Erträgen von 3000 bis 5000 KStE/ha genutzt.

Wird in die Stoppel dieser Vorfrucht der Mais eingepflanzt, bietet sich ein Anbausystem an, das nicht nur eine Steigerung der Flächenproduktivität, sondern auch die Verhinderung von Bodenerosion ermöglicht. Über erste Ergebnisse aus 1983 und Erfahrungen aus 1984 soll berichtet werden.

### Methodik

Bis 1984 wurden die Maispflanzen ausschließlich in Multitöpfen vorgezogen und manuell ausgepflanzt. Unter Flutlichtstrahlern wuchsen die hier beschriebenen Versuchspflanzen ca. 5 Wochen unter einen 22 h-Tag auf. Die Beleuchtungsintensität lag unter 1000 Lux.

1984 wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Hauni und Kleine ein mechanisiertes Verfahren erprobt. Mit Hilfe einer für die Zigarrenherstellung entwickelten Maschine wird ein endloser Strang geformt. Dieser wird mit Torfsubstrat gefüllt, in entsprechenden Abständen mit einem Samenkorn versehen und mit einem

\* Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft, Nordbahnhofstraße 1a, 3430 Witzenhausen 1

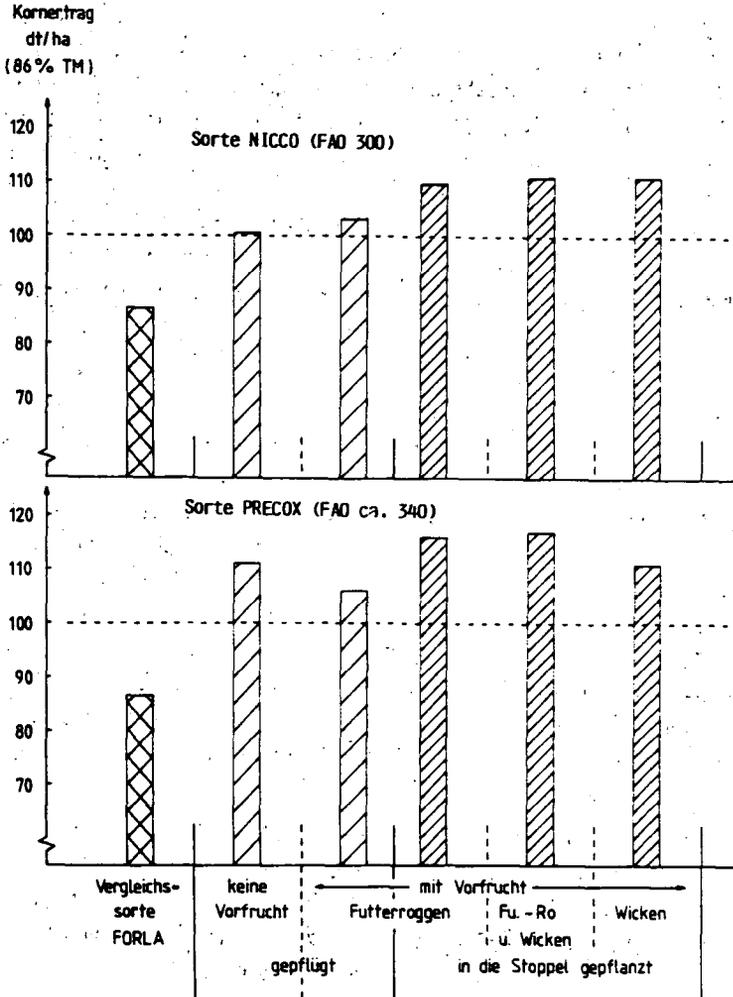
für die Wurzeln durchdringbaren Papier umhüllt. Dieser Strang wird entsprechend den Abständen der Samenkörner in einzelne Pflanzstumpen unterteilt. In Abständen, die den späteren Pflanzabständen entsprechen, werden diese Stumpen in eine endlose Folienumhüllung gestellt und zu größeren Einheiten verpackt. Die Folienumhüllung, die nach oben offen ist, dient dazu, ein Zusammenwachsen verschiedener Maispflanzreihen zu verhindern, jedoch die Wurzelausbreitung zu den Nachbarpflanzen hin zu fördern. Mit Hilfe einer speziell entwickelten Pflanzmaschine werden die Pflanzen nach Entfernung der Folie in die Stoppeln einer Vorfrucht eingepflanzt. Die Maschine arbeitet nach einigen Verbesserungen inzwischen bedienungsfrei (s. auch Abb. 3).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Abb. 1 gibt die wichtigsten Ergebnisse eines Auspflanzversuches aus 1983 wieder. In diesem Versuch sollte die Wirksamkeit von zwei Herbiziden<sup>Herb</sup> verschiedenen Applikationsterminen überprüft werden. Es erwies sich die Anwendung von Atrazin mit Ölzusatz eine Woche nach der Zwischenfruchternte als am wirksamsten, um vor allem das Nachwachsen von Roggen und Wicken zu verhindern. Wie die Abb. zeigt, wurden trotz der sommerlichen Trockenheit in 1983 (es erfolgte keine Beregnung) bei beiden geprüften Sorten die höchsten Erträge auf den Parzellen erzielt, auf denen der Mais in die Stoppeln der Vorfrucht eingepflanzt wurde. Besonders das Umpflügen der Futterstoppeln erwies sich als ungeeignete Maßnahme - wahrscheinlich eine Verschlechterung der kapillaren Leitfähigkeit zwischen Unterboden und Krume.

Trotz des schon sehr hohen Kornertrages der Kontrollvariante wurden Kornmehr-erträge von 25 bis 31 dt/ha erzielt. Auch bei Verzicht auf eine Vorfrucht war eine höhere Ertragsleistung durch das Einpflanzen in die Herbstfurche nicht mehr zu erzielen. Wie die Abb. 2 zeigt, bleiben die Stoppeln bis zur Ernte erhalten und bieten einen idealen Schutz vor Bodenerosion. Dabei ist sowohl Schutz vor Wasser- als auch Winderosion gegeben.

Das 1984 erstmals erprobte mechanisierte Pflanzverfahren wurde bislang auf drei Praxisschlägen (je 1/4 ha) durchgeführt. Es handelt sich um zwei Futterroggenflächen, bepflanzt am 21. und 22. Mai und um eine mit Weidelgras bestandene Fläche, die am 6. Juni bepflanzt wurde. In diesem überaus nassen Frühjahr erwies es sich, daß nur die nicht gepflügten Flächen überhaupt befahrbar und damit bepflanztbar waren. Aus Abb. 3 wird dies deutlich: Auf einer Löß-Parabraunerde in der Nähe von Göttingen konnte nach 11 mm nächtlichem Niederschlag störungsfrei am folgenden Vormittag gepflanzt werden.



**Abb. 1:** Kornerträge von zwei gepflanzten Maissorten in Abhängigkeit von einer Winterzwischenfrucht-Vornutzung und der Art der Bodenbearbeitung. (Die Vergleichssorte Forla wurde Ende April im Feld ausgesät).

Im nächsten Jahr soll auf größeren Flächen mehrreihig gepflanzt werden. Die Kosten von ca. 1000 DM/ha für dieses Verfahren werden durch den Ertrag der Vorfrucht gedeckt. Damit ist eine schnelle Einführung dieses Verfahrens in die landwirtschaftliche Praxis zu erwarten. Die mit diesem Anbausystem verbundene Erosionsverhinderung steht damit im Gegensatz zu anderen Erosionsschutzmaßnahmen wie der Mulch oder Direktsaat (vgl. DIETZ, 1982; ESTLER, 1984; SOMMER, 1984) die zusätzliche finanzielle Aufwendungen erforderlich machen.

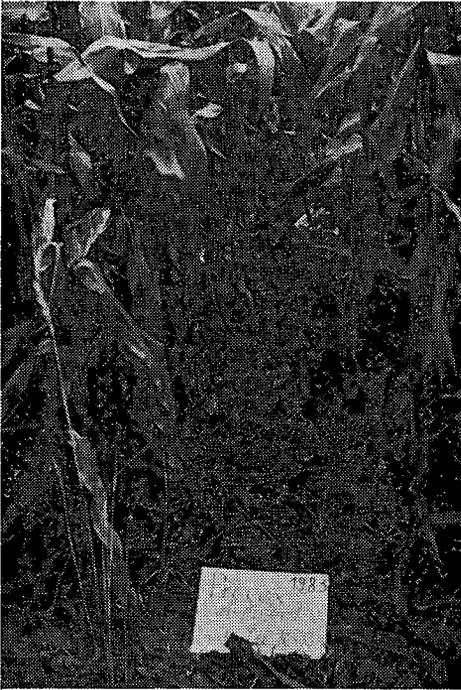


Abb.2: Erosionsschutz bis zur Ernte, wenn der Mais in die Stoppeln der zuvor genutzten Winterzwischenfrucht gepflanzt wird.

### Zusammenfassung

Ein neu entwickeltes Verfahren zum Auspflanzen von im Folienhaus 4 bis 6 Wochen lang vorgezogenen Maispflanzen erweist sich als eine sichere Erosionsschutzmaßnahme, wenn der Mais in die Stoppeln einer zuvor genutzten Winterzwischenfrucht gepflanzt wird. Neben deutlichen Mehrerträgen bei Mais ist ein Ertrag von ca. 4000 kStE/ha durch die Winterzwischenfrucht zu erzielen, weil der Mais erst in der zweiten Maihälfte gepflanzt wird. Die Kosten für das Pflanzverfahren sollen 1000,00 DM/ha nicht überschreiten.



Abb. 3: Einsatz einer Pflanzmaschine auf einer Fläche mit Futterroggenverfrucht.

## LITERATUR

- DIETZ, Th.: Erosionsschutzmaßnahmen im Maisanbau  
Mais, 2/82, 10-11, 1982
- ESTLER, M.: Beiträge der Landtechnik zur Erosionsvermeidung.  
Vortrag auf Tagung der Arbeitsgruppe Bodenerosion der DBG in Freising-Weihenstephan, Juni 1984
- SCHEFFER, K.: Pflanzversuche mit Mais I. Ertrag und Wachstumsverlauf von mittelspättem Mais auf einem klimatischen Grenzstandort in Abhängigkeit vom Aussaattermin. Kali-Briefe 16, 111-122, 1982
- SCHEFFER, K.: Pflanzversuche mit Mais II. Der Anbau von späten Sorten unter dem Einfluß einer künstlich verlängerten Photoperiode.  
Kali-Briefe 16, 123-138, 1982
- SCHEFFER, K.; PAHMEYER, E.; SZYMANSKI, D.: Der Einfluß der Saatzeit auf die Ertragbildung von Mais, dargestellt an Versuchen mit Folienbedeckung.  
Kali-Briefe, 17, 145-151, 1984
- SOMMER, C.: Die Mulchsaat zu Zuckerrüben - eine Möglichkeit zur Minderung des Bodenabtrags: Vortrag auf Tagung der Arbeitsgruppe Bodenerosion der DBG in Freising-Weihenstephan, Juni 1984

Einstufung der potentiellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der ABAG  
auf der Grundlage der Bodenschätzung

von

Schmidt, F. und O. Wittmann<sup>\*)</sup>

Unter den Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung sind der K-Faktor und der S-Faktor diejenigen Basisgrößen, die im Gelände erfaßt werden und stark wechseln können. Die Beurteilung der potentiellen Erosionsgefährdung größerer Flächen ist daher nur dann rasch und rationell möglich, wenn zumindest die bodeneigenen Kriterien kartographisch erfaßt und verfügbar sind.

Moderne Bodenkarten größeren Maßstabs liegen für die einzelnen Bundesländer in unterschiedlichem Ausmaß, jedoch für noch keines vollständig vor. Rinegen ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche durch die Bodenschätzung erfaßt. Für die Beurteilung des K-Faktors reicht der bodenkundliche Inhalt der Bodenschätzung normalerweise aus. Die Toleranzgrenzen des Bodenabtrages lassen sich in vielen Fällen ebenfalls aus der Bodenschätzung ableiten.

In Bayern ist die Bodenschätzung mittlerweile flächendeckend ausgewertet und liegt als geschlossenes Kartenwerk im Maßstab 1:5000 (gemeindeweise) und als Bodenschätzungsübersichtskarte im Maßstab 1:25000 vor.

Für die Ermittlung der K-Faktoren bieten sich 2 Quellen an:

1. Die sicherste Aussage über Bodenart und Humusgehalt des Oberbodens liefern die Profilbeschreibungen aus den Schätzungsbüchern, die auf den bayerischen Auswertungskarten auszugsweise enthalten sind.
2. Aus der Bodenart der Klassenbeschriebe, die ja nicht allein den Oberboden repräsentieren, sondern das Bodenartenprofil summarisch wiedergeben, läßt sich der K-Faktor mehr oder weniger gut ableiten. Ackerbeschriebe sind dabei auf jeden Fall brauchbarer als Grünlandbeschriebe.

Das geologische Ausgangsmaterial muß dabei Berücksichtigung finden, nicht nur in der differenzierenden Wertung der im Klassenbeschrieb enthaltenen Entstehung (D, LÖ, Al, V, Vg), sondern auch durch kritische Einbeziehung von stratigraphisch-lithologischen Unterschieden.

---

<sup>\*)</sup> Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr., D-8000 München 40

Zum Beispiel zeigt sich, daß ein feinsandiger Sandboden aus Knollensandsteinverwitterung der Kreide mit 92% Feinsand etwa 20 mal erosionsanfälliger ist, als eine Braunerde aus grobsandigen Burgsandstein.

Die in Abb. 1 (Bestimmung der Bodenerodierbarkeit) aufgestellten Beziehungen zwischen der Bodenart des Klassenbeschriebes und dem K-Faktor gelten streng genommen nur für das Tertiärhügelland und auch hier nur für den Raum, der durch die Bodenkarte 1:25000 Hallertau abgedeckt ist. Für alle übrigen bayerischen Landschaften müssen die Zusammenhänge erst noch hergestellt werden.

Für einen Ausschnitt der Bodenlandschaft Hallertau wurde eine Karte der K-Faktoren, und zwar klassifiziert, entworfen (Abb. 2). Grundlage war einmal die Bodenkarte 1:25000 Hallertau, zum anderen die Bodenschätzungsübersichtskarte 1:25000. Der Vergleich befriedigt durchaus. Man muß aber bedenken, daß die Bodenschätzung keine Aussagen über bewaldete Flächen trifft und die Grenzen nach Besitzverhältnissen ausgerichtet sind.

Um eine Aussage über die potentielle Erosionsgefährdung treffen zu können, müssen die übrigen Faktoren der ABAG ebenfalls quantifiziert werden.

In Bayern wurde im Rahmen der Agrarleitplanung eine Neigungsstufenkarte erstellt. Sie differenziert leider nicht die Hangneigungen unter 7°. Die Hangneignungsverhältnisse für den vorher gezeigten Kartenausschnitt sind in Abb. 3 erfaßt. Die nicht mit Zahlen versehenen Flächen sind Auftragsbereiche. Ansonsten herrschen in diesem Landschaftsausschnitt mittlere Neigungen bis maximal 10° vor. Die Flächen mit 1 sind z. B. Firstbereiche langgestreckter Hügelrücken mit nur sehr geringer Neigung.

Für die restlichen Faktoren C, R, L und P sollte man realistische Werte wählen, die den lokalen Gegebenheiten entsprechen, z. B. für L = 2.1 (100 m), C = 0.3 (Hackfrucht-Getreide-Getreide), P = 1; R bleibt regional meist gleich.

Abschließend soll das Ergebnis der Verschneidung der Neigungsstufen- und K-Klassenkarte vorgestellt werden und zwar nicht nur für den Kartenausschnitt von Blatt Au (Abb. 4), sondern auch für einen Teil aus der Sandlandschaft östlich Geisenfeld (Abb. 5) und aus der Lößlandschaft südlich Geiselbach (Abb. 5).

Zusammenfassung:

Zusammenfassend kann man sagen, daß der große Wert der Bodenschätzung, letztlich ihres bodenkundlichen Inhalts für die Erosionsvorhersage darin liegt, daß sie derzeit die einzige Grundlage für eine weitgehend flächendeckende Ermittlung der K-Faktoren darstellt. Eine Kartierung der potentiellen Erosionsgefährdung ist somit in Gebieten, für die keine modernen Bodenkarten vorliegen, nur mit ihrer Hilfe kurzfristig sinnvoll machbar.

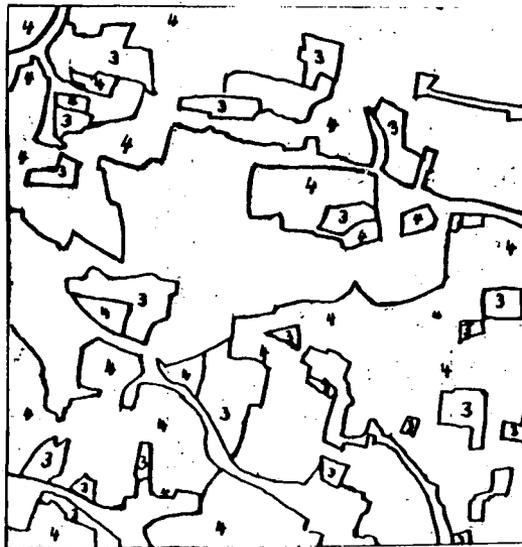
Bestimmung der Bodenerodierbarkeit

Bodenart der Krume  
(Oberboden)

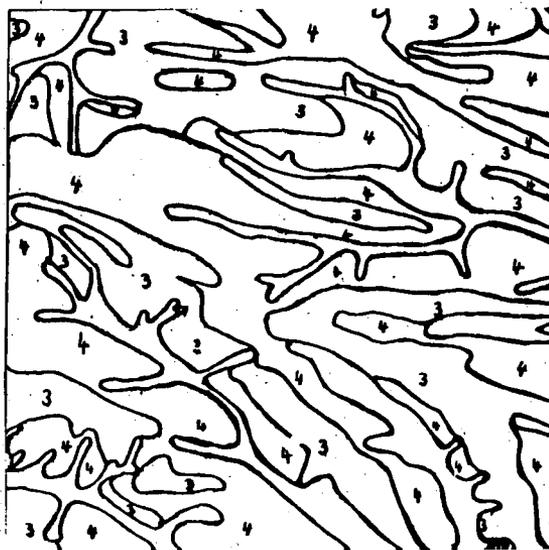
	gS,sT,lT	mS, fsmS, 'S, tS	msfS, fS, lfs, UT	ufS, u'fS, lU, tU	ūfS, fsU,
nach Bodenartendreieck der Kartieranleitung (Fingerprobe)	u'T, T	l'S, lS, īS, ulS	t'L, uS, s'L, lU, tU		au, u, l'U, t'U
Bewertung	1	2	3	4	5
K-Wertspanne	< 0,10	0,11 - 0,25	0,26 - 0,50	0,51 - 0,75	> 0,75
Nach den Profilbe- schreibungen der Bodenschätzung	gS,sT,lT,T	mS,t'S,tS,l'S, lS,īS,tL,StL, sL,lT	fS,t'L,s'L	l'fS,lfs,fsL	fS,l,īfS
1:5 000					
nach den Klassenbe- schrieben der Boden- schätzung	S	lS,Sl,T	Sl,sl,LT5,LT6	L,LT4	
1: 25 000					

Abb.1: Bestimmung der Bodenerodierbarkeit

Abb.2: Flächenhafte Darstellung der K-Faktorenklassen, Ausschnitt von  
Blatt Nr. 7436 - Au in der Hallertau



Grundlage: Bodenschätzungsübersichtskarte 1:25000



Grundlage: Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:25000



Abb.3: Hangneigungsstufenkarte 1:25000 (Ausschnitt)  
 Grundlage: Agrarleitplan und Topographische  
 Karte 1:25000 Blatt Nr. 7436 - Au  
 in der Hallertau  
 Einteilung: Kartieranleitung, 3. Auflage,  
 1982

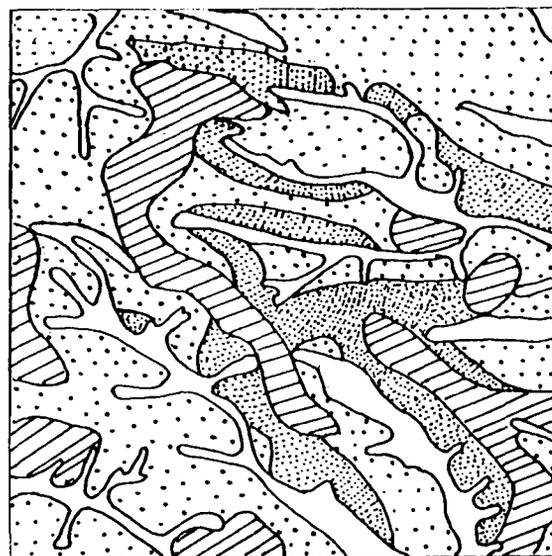
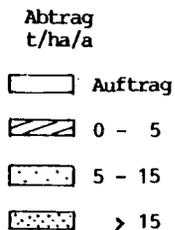
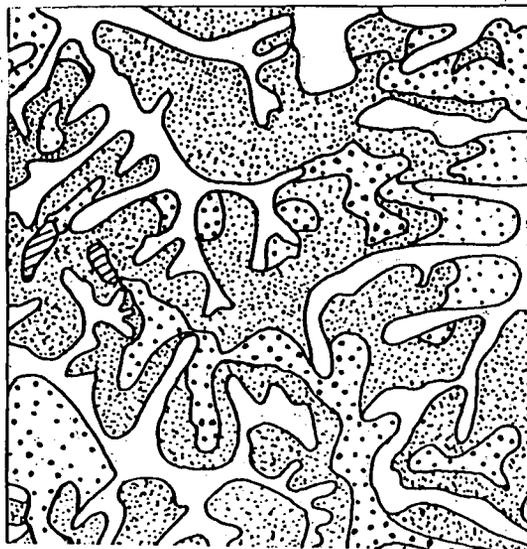
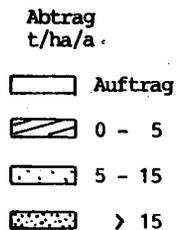


Abb.4: Flächenhafte Darstellung der potentiellen  
 Erosionsgefährdung 1:25000 (Ausschnitt),  
 Blatt Nr. 7436 - Au in der Hallertau

Abb.5: Flächenhafte Darstellung der potentiellen Erosionsgefährdung  
1:25000 (Ausschnitte)



Blatt Nr. 7335 - Geisenfeld ("Sandlandschaft")



Blatt Nr. 7336 - Mainburg ("Lößlandschaft")

Experimentelle Untersuchungen und Modellvorstellungen  
zur Bodenerosion durch Wasser

von  
Schmidt, J.+)

1. Einleitung

Die vorliegenden Untersuchungen zur Bodenerosion durch Wasser dienen der Entwicklung eines Modells, mit dessen Hilfe der bei einem Niederschlagsereignis ausgetragene Feststoff berechnet werden kann. Im Gegensatz zu älteren "Erosionsgleichungen", die auf aufwendigen Korrelationsuntersuchungen basieren (z.B. WISCHMEIER u. SMITH, 1961), soll hier versucht werden, einen physikalisch begründbaren Ansatz zugrunde zu legen.

2. Versuchsaufbau

Im experimentellen Teil der Arbeit werden die zu untersuchenden Vorgänge an einem im Labor modellierten Hangsegment simuliert. Diese Vorgehensweise gestattet kontrollierbare und variierbare Versuchsbedingungen. Ein Schema des experimentellen Aufbaus zeigt Abb. 1. Eine Erläuterung der einzelnen Anlagenteile ist hier aus Platzgründen nicht möglich.

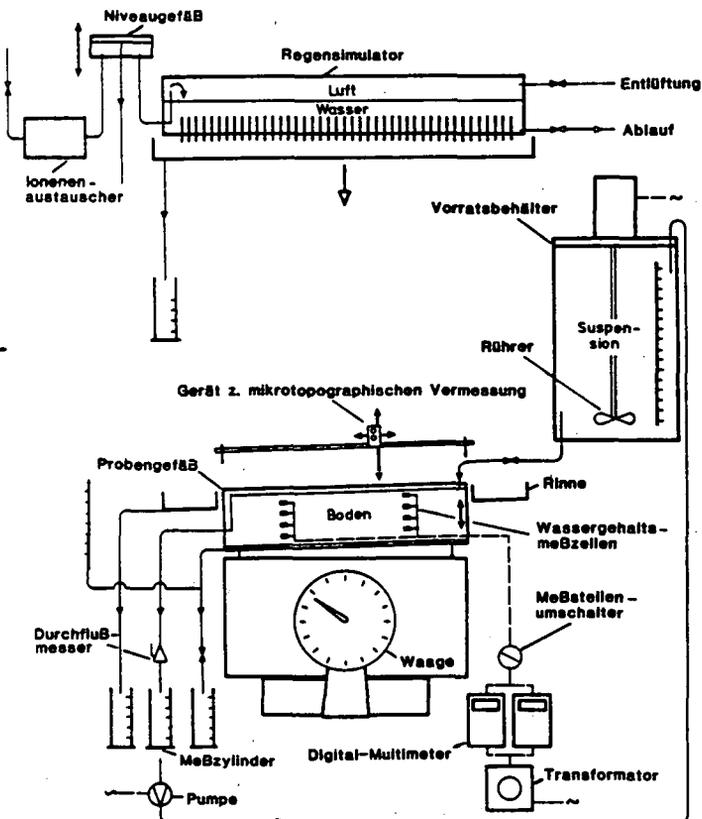


Abb. 1: Schema der Versuchsanlage

+ ) Institut f. Physische Geographie, FU Berlin, Grunewaldstr. 35, 1000 Berlin 41

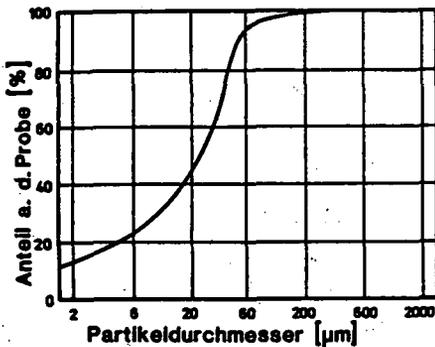


Abb. 2: Korngrößenverteilung des verwendeten Bodenmaterials

#### 4. Meßergebnisse

In Abb. 3 sind die bei unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten ( $r$ ) gemessenen Feststoffausträge über den jeweiligen Abflüssen aufgetragen. Für  $r=0$  (ungestörte Überströmung) können die eingezeichneten Meßwerte grob durch eine Gerade ausgeglichen werden. Dem Verlauf der Geraden ist zu entnehmen, daß zunächst ein bestimmter Mindestabfluß notwendig ist, damit überhaupt ein Feststofftransport in Gang kommt. Nach Überschreiten des Mindestabflusses wächst der Feststoffaustrag bei weiter zunehmendem Abfluß an.

Betrachtet man die bei  $r>0$  erhaltenen Meßwerte, so stellt man fest, daß diese stets oberhalb der eingezeichneten Geraden liegen. Dies bedeutet, daß sich die Erosionsleistung eines Abflusses durch die Einwirkung eines Niederschlags erhöht. Der Zuwachs des Feststoffaustrages gegenüber der ungestörten Überströmung ist dabei umso größer, je größer die Niederschlagsintensität ist. Diese Tendenz kommt in Abb. 3 allerdings nur undeutlich zum Ausdruck.

#### 5. Modell für den Feststoffaustrag

Der Vorgang der Erosion kann durch ein Modell beschrieben werden, das die verschiedenen auf den Feststoffaustrag einwirkenden physikalischen Einflüsse miteinander verknüpft. Hierbei wird von der Vorstellung ausgegangen, daß für den Transport von Bodenteilchen das Verhältnis von "verlagernden" zu "beharrenden" Kräften von entscheidender Bedeutung ist. Nach dieser Vorstellung wird Material von der überströmten Unterlage gelöst und fortbewegt, wenn die Summe  $\Sigma$  der bei der Bewegung des Wassers wirksamen Kräfte  $F_{1,2,\dots}$  größer wird als die Summe  $\Sigma$  derjenigen Kräfte  $F'_{1,2,\dots}$ , die die Bodenpartikel in ihrer Lage festhalten.

#### 3. Material

Zur Durchführung der Versuche wurde Material aus dem Oberboden einer Acker-Schwarzerde (Hildesheimer Börde bei Algermissen) herangezogen. Die hierfür ermittelte Korngrößenverteilung ist in Abb. 2 wiedergegeben.

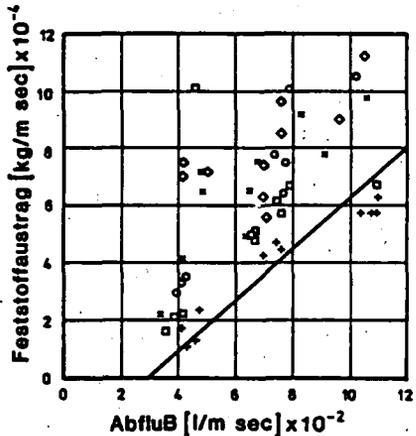


Abb. 3: Feststoffaustrag als Funktion des Abflusses für verschiedene Niederschlagsintensitäten ( $+ = 0$ ;  $\square = 12,5$ ;  $\circ = 25,0$ ;  $\times = 37,5$ ;  $\diamond = 50,0$  mm/h) und eine Hangneigung von  $3,5^\circ$

In anderer Form ausgedrückt ergibt sich:

$$FA = 0 \text{ für } F/\gamma \leq 1 \text{ und}$$

$$FA > 0 \text{ für } F/\gamma > 1 .$$

Bei der praktischen Anwendung dieser Überlegungen ergibt sich die Schwierigkeit, daß eine direkte meßtechnische Erfassung der an dem Erosionsvorgang beteiligten Kräfte nicht möglich ist. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß bei den hier betrachteten Abflüssen neben den Kräften, die bei der Überströmung wirksam werden, auch solche Kräfte zu berücksichtigen sind, die von aufschlagenden Regentropfen in dem Wasserfilm induziert werden.

Einen zumindest qualitativen Eindruck von den wirkenden Kräften erhält man, wenn man an ihrer Stelle die in der Strömung bzw. in den aufschlagenden Tropfen enthaltenen Impulsströme betrachtet. Der Impulsstrom kann in diesem Fall als die Kraft aufgefaßt werden, die angewendet werden muß, um das strömende Wasser bzw. die fallenden Tropfen von ihrer Ausgangsgeschwindigkeit bis auf Null abzubremesen. Im Gegensatz zu den tatsächlich wirkenden Kräften können die Impulsströme aus relativ einfach zu messenden Größen ermittelt werden. Hierbei reicht es aus, jeweils nur dasjenige Segment eines Hanges oder Hangabschnittes zu betrachten, das von dem oberflächlichen Abfluß zuletzt überwunden werden muß. Für die Impulsströme können allgemein folgende Beziehungen angegeben werden:

- Impulsstrom der ungestörten Strömung  $\varphi_A$  :

$$\varphi_A = \underbrace{\Delta y \cdot \delta \cdot \bar{v}}_2 \cdot \underbrace{\rho \cdot \bar{v}}_3 \quad (1)$$

1) Volumenstrom  
2) Massenstrom  
3) Impulsstrom

Hierin bedeutet  $\Delta y$  die Breite des Hangsegments,  $\delta$  die Dicke des Wasserfilms,  $\bar{v}$  die mittlere Strömungsgeschwindigkeit,  $\rho$  die Dichte des Wassers.

- Impulsstrom der aufschlagenden Tropfen  $\varphi_{Tr}$  :

$$\varphi_{Tr} = \underbrace{r \cdot \cos \alpha \cdot A}_2 \cdot \underbrace{\rho \cdot \bar{v}_{Tr}}_3 \quad (2)$$

1) Volumenstrom  
2) Massenstrom  
3) Impulsstrom

Hierin bedeutet  $r$  die Niederschlagsintensität,  $\alpha$  die Neigung des Hangsegments,  $A$  die Fläche des Hangsegments,  $\rho$  die Dichte des Regenwassers,  $\bar{v}_{Tr}$  die mittlere Fallgeschwindigkeit der Tropfen.

Bei der Berechnung des in der ungestörten Strömung enthaltenen Impulsstromes können die Parameter "Filmdicke" und "Filmgeschwindigkeit" nach folgenden Beziehungen aus den einer Messung zugänglichen Größen bestimmt werden.

- Filmdicke an der Stelle  $z$ :

$$\delta_z = \sqrt[3]{\frac{3 \sqrt{((r-1) \cdot \Delta z + Z)}}{g \cdot \sin \alpha}} \quad (3)$$

- mittlere Filmgeschwindigkeit an der Stelle z:

$$\bar{v}_z = \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot \delta z^2}{3 \nu} \quad (4)$$

Bei der Ableitung der Gln. (3) und (4) wurde von den physikalischen Verhältnissen der Filmströmung auf einer geneigten Fläche ausgegangen (vgl. BIRD, STEWART u. LIGHTFOOT, 1960, S. 37-40). Die in den Formeln verwendeten Symbole bedeuten:  $\nu$  = kinematische Viskosität des Wassers,  $r$  = Niederschlagsintensität,  $i$  = Infiltrationsrate,  $\Delta z$  = überströmte Strecke,  $Z$  = Zufluß aus einem oberhalb des Hangsegments gelegenen Flächenstück,  $g$  = Erdbeschleunigung,  $\alpha$  = Neigung des Hangsegments.

Wie aus den Gleichungen hervorgeht, variieren Filmdicke und -geschwindigkeit mit der Länge  $\Delta z$  der überströmten Fläche. Beispielsweise erhält man wegen der Addition der Volumenströme bei gleichzeitigem Vorliegen von Oberflächenabfluß und Niederschlag eine Zunahme der genannten Größen in Richtung des Gefälles. Dies gilt, wie aus Gl. (1) zu ersehen ist, in gleicher Weise für den in der Strömung enthaltenen Impulsstrom. Für die auf ein Hangsegment bezogene Betrachtung kann jedoch der Einfachheit halber von Mittelwerten  $\bar{v}_A$  des Impulsstromes ausgegangen werden.

Bei der Berechnung des in den aufschlagenden Tropfen enthaltenen Impulsstromes kann die mittlere Fallgeschwindigkeit der Tropfen mit Hilfe folgender empirischer Gleichung aus der Niederschlagsintensität ermittelt werden:

$$\bar{v}_{Tr} = 2,5 \cdot r^{0,2} + 2,2$$

Die angegebene Gleichung basiert auf Meßergebnissen von LAWS (1941, S.719) und LAWS u. PARSONS (1943, S.458).

Aus den Impulsströmen läßt sich nunmehr ein dem Kräfteverhältnis  $\mathcal{F}/\mathcal{F}^*$  analoges Verhältnis bilden. Hierbei hat es sich als sinnvoll erwiesen, von dem in den Tropfen enthaltenen Impulsstrom nur die in Gefällsrichtung wirkende Komponente zu berücksichtigen. Das Impulsstromverhältnis lautet:

$$PV = \frac{\bar{v}_A + v_{Tr} \cdot \sin \alpha}{v_A^*}$$

Hierin ist mit  $v_A^*$  derjenige Impulsstrom gemeint, den eine ungestörte Strömung maximal beinhalten darf, ohne daß an der Oberfläche des Bodens Teilchen bewegt werden. Man darf annehmen, daß dieser durch einen Versuch zu ermittelnde, "kritische" Impulsstrom der Summe aus denjenigen Kräften proportional ist, die einer Verlagerung von Bodenteilchen entgegenwirken. Für das Impulsstromverhältnis gilt wie für das Verhältnis der Kräfte:

$$v_A = 0 \quad \text{für} \quad PV \leq 1 \quad \text{und} \\ v_A > 0 \quad \text{für} \quad PV > 1$$

In Abb. 4 sind die bei den Simulationsversuchen gemessenen Feststoffausträge als Funktion des Impulsstromverhältnisses aufgetragen. Man erkennt, daß sich die eingezeichneten Punkte durch eine Gerade ausgleichen lassen. Die Gleichung der Geraden lautet:

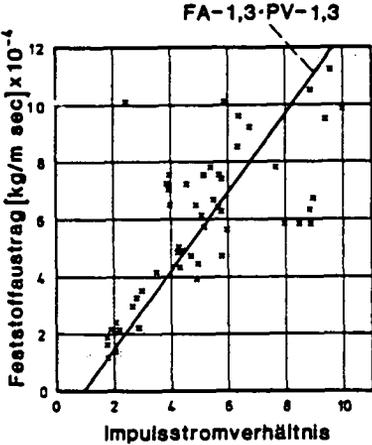


Abb. 4: Feststoffaustrag als Funktion des Impulsstromverhältnisses

In Abb. 5 ist das Ergebnis einer Modellrechnung wiedergegeben, bei der die Niederschlagsintensität variiert, die sonstigen Einflußgrößen jedoch konstant gehalten wurden. Man entnimmt der

Abbildung, daß bei dem hier gewählten Beispiel der Austrag von Feststoffen etwa bei einer Niederschlagsintensität von 10mm/h beginnt. Bei weiter zunehmender Niederschlagsintensität wächst der Feststoffaustrag an, wobei sich die Steigung der Kurve langsam vergrößert.

In Abb. 6 ist der Einfluß der Hanglänge auf den Feststoffaustrag veranschaulicht. Unter den hier gegebenen Bedingungen setzt der Feststoffaustrag bei einer Hanglänge von etwa 30m ein. Wird diese Hanglänge überschritten, steigt der Feststoffaustrag an. Hierfür ergibt sich ein ähnlicher Kurvenverlauf wie bei der Erhöhung der Niederschlagsintensität.

Abb. 7 gibt schließlich den Einfluß der Neigung auf den Feststoffaustrag wieder. Erwartungsgemäß ist auch bei einer Zunahme des Neigungswinkels ein Anwachsen des Feststoffaustrages festzustellen. Die berechnete Kurve steigt zunächst relativ steil an, flacht jedoch schon bei etwa 1° Neigung deutlich ab.

Mit Hilfe dieser empirischen Beziehung kann der Einfluß einzelner Parameter auf den Feststoffaustrag rechnerisch simuliert werden.

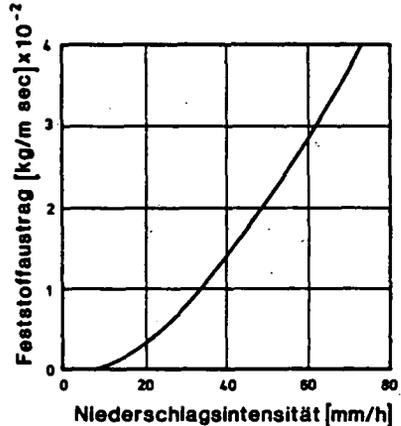


Abb. 5: Feststoffaustrag als Funktion der Niederschlagsintensität (Hangneigung: 5°; Infiltrationsrate: 5mm/h; Hanglänge: 51m; krit. Impulsstrom: 197,5dyn)

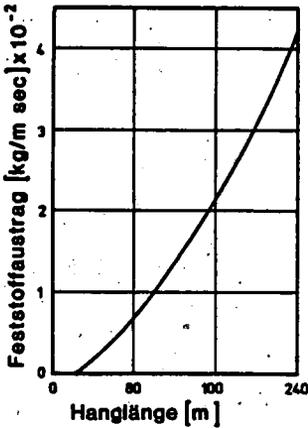


Abb. 6: Feststoffaustrag als Funktion der Hanglänge (Hangneigung: 5°; Niederschlagsint.: 20mm/h; Infiltrationsrate: 5mm/h; krit. Impulsstrom: 197,5dyn)

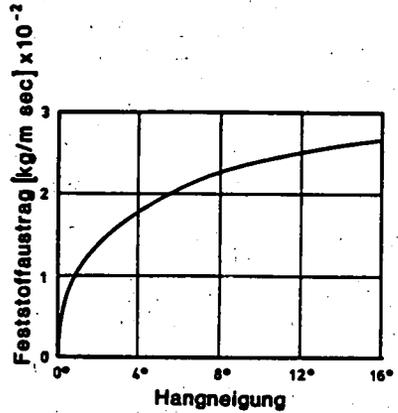


Abb. 7: Feststoffaustrag als Funktion der Hangneigung (Niederschlagsint.: 20mm/h; Infiltrationsrate: 5mm/h; Hanglänge: 151m; krit. Impulsstrom: 197,5dyn)

Zur Überprüfung des Modells stehen dem Verfasser bislang keine brauchbaren Daten aus Geländemessungen zur Verfügung. Aufgrund der Ergebnisse der gerechneten Beispiele darf man jedoch erwarten, daß das Modell zur Berechnung des Feststoffaustrages geeignet ist.

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zur Bodenerosion durch Wasser wird unter Verwendung experimentell ermittelter Ergebnisse ein Modell entwickelt, mit dem das Zusammenwirken der maßgeblichen Einzeleinflüsse rechnerisch simuliert werden kann. Hierbei werden die in der Strömung bzw. in den aufschlagenden Tropfen enthaltenen Impulsströme mit einem "kritischen" Impulsstrom verglichen, der von den jeweiligen Eigenschaften der überströmten Unterlage abhängig ist. Man erhält damit eine Kennzahl, aus der der Feststoffaustrag mittels einer empirischen Beziehung berechnet werden kann. Anhand einiger Modellrechnungen wird der Einfluß der Niederschlagsintensität, der Hanglänge und der Hangneigung auf den Feststoffaustrag aufgezeigt.

## 7. Literatur

BIRD, R.B., STEWART, W.E., LIGHTFOOT, E.N. (1960): Transport phenomena, New York

LAWS, J.D. (1941): Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. Transactions American Geophysical Union, Part 3, No. 21, S. 709-721

LAWS, J.D. u. PARSONS, D.A. (1943): The relation of raindrop size to intensity. Transactions American Geophysical Union, No. 24, S. 452-460

WISCHMEIER, W.H. u. SMITH, D.D. (1961): A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. Transactions of 7. International Congress of Soil Science, Madison Wis., USA, Vol. 1. Amsterdam, S. 418-425

Ergebnisse von Beregnungsversuchen auf Meßparzellen

von  
Schmidt, R.-G. <sup>\*)</sup>

1. Vorstellung der Beregnungsanlage

Da über die Technik der Beregnungsanlage bereits publiziert worden ist (R.-G. SCHMIDT 1982, 1983a, 1983b), mag es hier genügen, die Anlage nur mit wenigen Stichworten vorzustellen. Es handelt sich um einen "Kapillar-Regner". In durchschnittlich 4,1 m Höhe ist ein "Kapillar-Himmel" aufgehängt, mit dessen Silikonkapillaren zunächst gleich große Tropfen erzeugt werden. Mit Hilfe eines darunter gespannten Verteilersiebtes wird dann ein Tropfenspektrum erreicht, das hinsichtlich Tropfengröße bzw. Tropfengrößenverteilung und Fallgeschwindigkeit im Bereich natürlicher (Stark)-Niederschläge liegt. Bei einer Kapillardichte von 250 Stk./m<sup>2</sup> und unter Verwendung von mechanischen Durchflußreglern lassen sich stufenlos Niederschlagsintensitäten zwischen 0,4 und 4,8 mm/min (= 24 - 288 mm/h) erzeugen.

Die Beregnungsanlage wird bisher eingesetzt auf einer Testfläche, die auf der Niederterrasse des westl. Möhliner Feldes im Hochrheintal liegt. Dort befinden sich 3 Normalparzellen (1 m breit, 10 m lang) und 2 in der Neigung verstellbare Miniparzellen (1 m breit, 2,5 m lang). Die Miniparzellen können gleichzeitig, die Normalparzellen müssen nacheinander beregnet werden.

Die Einsatzziele des Regners sind gerichtet auf die Erfassung der Wirkung von:

- Niederschlagsmenge und -intensität,
- Hangneigung,
- Bearbeitungsrichtung,
- Feldfrucht,
- Schutzmaßnahmen

im Hinblick auf Ausmaß und Ablauf des Abtragsvorganges.

---

<sup>\*)</sup> Geographie/Geowissenschaften, Physische Geographie, Universität Trier, Postfach 3825, 5500 Trier

## 2. Ergebnisse

Bei vorgegebener Niederschlagsmenge bzw. -intensität werden die Parameter Abflußmenge und Abflußgeschwindigkeit gemessen. Aus der Abflußmenge werden Wasser- und Materialanteil bestimmt; letzterer wird auf verschiedene bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften hin untersucht (z.B. Korngrößenzusammensetzung). Aus der Abflußgeschwindigkeit kann die Abflußrate und z.T. auch die Abtragsrate bestimmt werden.

### 2.1. Meßergebnisse auf den Normalparzellen

#### (1) Zur Wirkung der Bearbeitungsrichtung (ohne Bepflanzung)

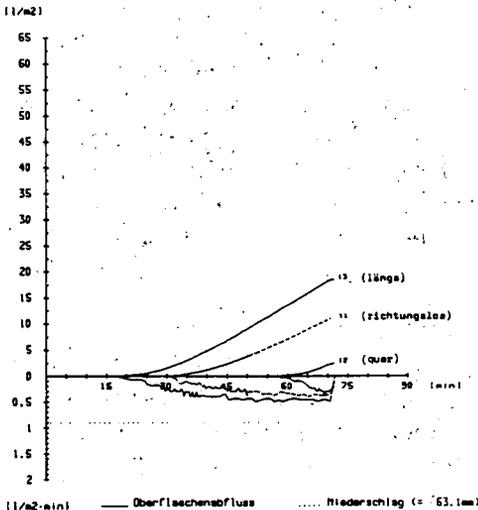


Abb. 1: Auswertung von Berechnungsversuchen: Oberflächenabflußkurven der Normalparzellen P 1/1; P 1/2 und P 1/3 bei 8° Neigung und unterschiedlicher Bearbeitungsrichtung.

Abbildung 1 zeigt das Oberflächenabflußverhalten bei richtungsloser, Quer- und Längs-Bearbeitung - und dokumentiert gleichzeitig die Art der Auswertung und Darstellung der Berechnungsversuche.

Daraus geht hervor, daß

- der Abflußbeginn gestaffelt einsetzt, zunächst auf der längs bearbeiteten, dann auf der richtungslos und zuletzt auf der quer bearbeiteten Parzelle,
- nach einer Anlaufphase eine gleichmäßige Zunahme (Gerade) der Abflußmenge erfolgt, allerdings je nach Bearbeitung mit unterschiedlicher Steigung,
- sich die Abflußgeschwindigkeit entsprechend verhält und sich mehr oder weniger deutlich auf ein Plateau einpendelt.

Für Abfluß- und Abtragsmenge gilt in drei von vier Fällen die o.g. Reihenfolge: längs > richtungslos > quer; in einem Fall waren Abfluß- und Abtragsmenge auf der richtungslos bearbeiteten Parzelle größer als auf der längs bearbeiteten. Da die Querbearbeitung also in jedem Fall am wenigsten Abfluß/Abtrag aufweist, ist es interessant zu sehen, um wieviel bzw. in welcher Schwankungsbreite die Werte der anderen Bearbeitungsrichtungen darüberliegen (Tab. 1).

Tabelle 1: Schwankungsbreite von Abfluß- und Abtragsmenge, bezogen auf die Quer-Parzelle

	richtungslos	längs
Abflußmenge	5- bis 22fach	5- bis 8fach
Abtragsmenge	4- bis 21fach	8- bis 41fach

(2) Abtragsraten im Verlauf einer Beregnung

Hier ist die Frage, inwieweit verändert sich die mitgeführte Materialmenge im Verlauf eines Beregnungsversuches. In zwei Versuchsserien wurde eine entsprechende Auswertung 10-l-weise durchgeführt. Dabei zeigt sich, daß die Abtragsmenge je 10 l mit zunehmendem Abfluß meist deutlich zunimmt (Tab. 2). Der Punkt, an dem die Zunahme infolge Sättigung geringer wird oder aufhört, wurde bei beiden Versuchsserien nicht erreicht. Ver.-Nr. 406 ist als Sonderfall zu betrachten; hier erfolgte während des größten Teils der Versuchsdauer der Abfluß lediglich aus dem untersten Parzellen-Meter.

Tabelle 2: Abtragsraten (g/m<sup>2</sup>) im Verlauf einer Beregnung

Vers. Nr.	Bearb.	Abtrag pro 10 l Abfluß										Abtr. Summe	
		10	20	30	40	50	...	100	...	150	...		
360	r.los	26,5	34	32	37,5								158
376	längs	7	8	34,5	47								120
389	längs	9	8,5	18,5	26,5	27,5							94
406	r.los	3	3	3	3	2,5		3			4		71

(3) Korngrößenzusammensetzung des Abtrags

Vergleicht man die durchschnittliche Korngrößenzusammensetzung des Abtrags aus den Beregnungsversuchen mit der von den natürlichen Abtragsereignissen, dann ergibt sich eine annähernde Übereinstimmung (Tab. 3), was sicher als Indiz für die Qualität (Näturnähe) des erzeugten Regens gewertet werden darf..

Aus dem Vergleich zwischen Regner-Abtrag und Ausgangssubstrat geht hervor, daß der Sandanteil gegenüber dem Ausgangssubstrat rund 11 Prozentpunkte niedriger liegt und dafür der Schluffanteil um ca. 10 Prozentpunkte höher ist (Tab. 3). Dabei treten die größten Differenzen meist im Fein- und Staubsand und im Grobschluff, gelegentlich auch im Mittel- und Feinschluff auf. Das deckt sich mit den Angaben in R.-G. SCHMIDT (1979).

Tabelle 3: Vergleiche der Korngrößenzusammensetzung

Durchschnittliche Korngr.zusammensetzung	Sand	Schluff	Ton
Regner-Abtrag	10,6	55,7	33,8
natürl. Abtrag	13,4	51,2	35,3
Differenz	-2,8	+4,5	-1,5
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
Regner-Abtrag	10,6	55,7	33,8
Ausgangssubstrat	22,1	45,4	32,6
Differenz	-11,5	+10,3	+ 1,2

2.2. Meßergebnisse auf den Miniparzellen

(1) Zur Wirkung unterschiedlicher Hangneigungen

Zunächst sei auf die Neigungen 8°, 12° und 16° in ihrer Wirkung auf Abflußmenge und -geschwindigkeit eingegangen.

Bei Längsbearbeitung (Abb. 2):

- setzt der Oberflächenabfluß bei allen drei Neigungen praktisch zur selben Zeit ein;
- werden entsprechend der Zunahme der Neigung gleichmäßig gestaffelte Abflußmengen erreicht;
- werden die Abflußgeschwindigkeitsplateaus zwar gestaffelt erreicht, diese liegen aber sehr dicht beieinander.

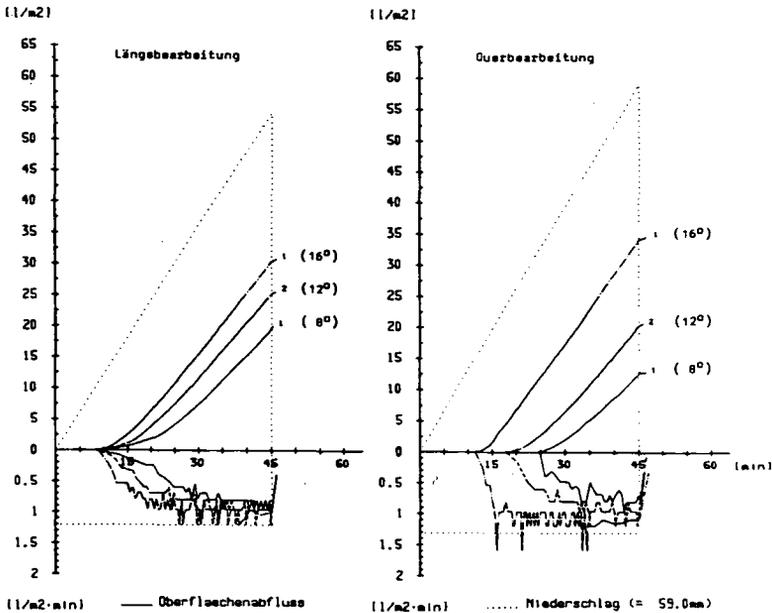


Abb. 2: Auswertung von Beregnungsversuchen: Wirkung unterschiedlicher Hangneigungen bei Längs- und Querbearbeitung.

Bei Querbearbeitung (Abb. 2):

- setzt der Abflußbeginn sehr deutlich zeitlich verschoben ein;
- werden entsprechend der Neigung gestaffelte Abfluß- und Abtragsmengen erreicht, aber mit größeren Differenzen als bei Längsbearbeitung;
- werden nach Abflußbeginn die einzelnen Geschwindigkeitsplateaus relativ rasch erreicht;
- treten bei 16° vereinzelt Spitzenabflußgeschwindigkeiten auf, die über der Niederschlagsintensität liegen; darin kommt die zunächst stauende Wirkung der Drillfurchen mit dem anschließenden "Dammbruch" zum Ausdruck - diese Erscheinung wurde bisher nur bei 14° und 16° beobachtet.

(2) Zur Wirkung der Bearbeitungsrichtung (ohne Bepflanzung)

In der Abbildung 3 ist die Wirkung der Bearbeitungsrichtung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Neigungen dargestellt, und zwar im Hinblick auf Abflußmenge und -geschwindigkeit sowie auf die Abtragsmenge. Die untersuchten Neigungen sind 8°, 10°, 12°, 14° und 16°.

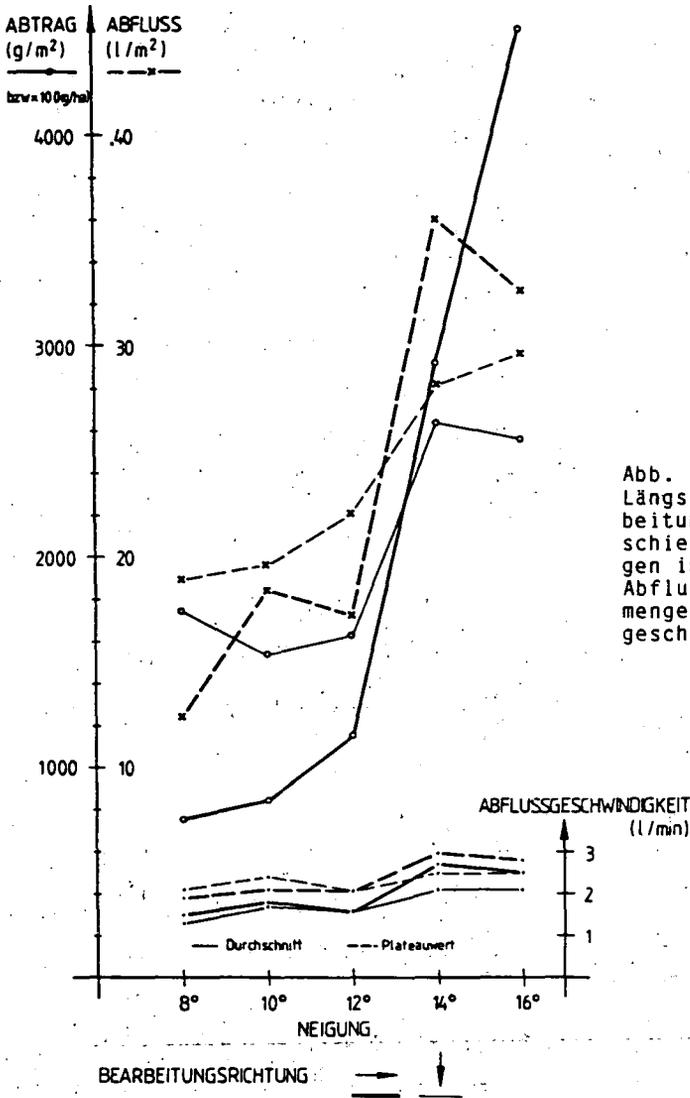


Abb. 3: Wirkung von Längs- und Querbearbeitung bei unterschiedlichen Neigungen im Hinblick auf Abfluß- und Abtragsmenge sowie Abflußgeschwindigkeit

Dabei zeigt sich für die Längsbearbeitung, daß

- mit zunehmender Neigung Abtrag und Abfluß mehr oder weniger parallel ansteigen,
- auch die Abflußgeschwindigkeit mit der Neigung eindeutig zunimmt, wobei die Differenz zwischen durchschnittlicher Abflußgeschwindigkeit und Plateauwert von 0,8 auf 0,4 l/min abnimmt; das bedeutet, daß bei den geringeren Neigungen das Plateau relativ langsam erreicht wird und der Abfluß schleppend einsetzt.

### Bei Querbearbeitung:

- liegen Abfluß und Abtrag bis etwa 12° deutlich niedriger als die entsprechenden Werte unter Längsbearbeitung;
- über 12° steigen Abfluß und vor allem Abtrag sprunghaft an und übertreffen die Werte der Längsbearbeitung z.T. beträchtlich;
- liegt die Abflußgeschwindigkeit im unteren Neigungsbereich zwischen Durchschnitts- und Plateauwerten der Längsbearbeitung, über 12° deutlich darüber; dabei schwankt die Differenz zwischen Durchschnitt und Plateau nur um 0,3/0,4 l/min, was bedeutet, daß das Plateau rasch erreicht wird und der Abtrag zügig (nach Abflußbeginn) einsetzt.

### (3) Korngrößenzusammensetzung des Abtrags

Vergleicht man die durchschnittliche Korngrößenzusammensetzung des Regner-Abtrags mit der der natürlichen Abtragsereignisse auf den Miniparzellen, dann ergibt sich wie bei den Normalparzellen eine gute, ja sogar eine bessere Übereinstimmung (mit einer maximalen Abweichung von 2,5 Prozentpunkten).

Die Gegenüberstellung von Regner-Abtrag und Ausgangssubstrat zeigt eine sehr starke Verschiebung: Insgesamt wird wesentlich weniger Schluff (- 15%) transportiert, allerdings mit einer deutlichen Differenzierung zwischen Staubsand (35,5 % statt 68,5%) und Grob- bis Feinschluff (25,5 % statt 7,5 %), wird wesentlich mehr Ton transportiert (+ 19 %) und etwas weniger Sand (- 4,5 %) (immer gemessen am Ausgangssubstrat).

### Zitierte Literatur

- SCHMIDT, R.-G.: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen - Methoden und ihre Anwendung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfeldern und Wallbach (Schweiz). In: Physiogeographica, Bd. 1, 1979, 240 S.
- SCHMIDT, R.-G.: Bodenerosionsversuche unter künstlicher Beregnung. In: Ztschr. f. Geom., N.F., Suppl.-Bd. 43, 1982, S. 67-79
- SCHMIDT, R.-G.: Ein Regensimulator für Feldversuche. In: Wasser und Boden, Jg. 35, Nr. 4, 1983a, S. 179-182
- SCHMIDT, R.-G.: Technische und methodische Probleme von Feldmethoden der Bodenerosionsforschung. In: Geomethodica, Vol. 8, Basel 1983b, S. 51-85



Maßnahmen zur Grundwassererneuerung  
und Erosionsbekämpfung

von  
G. Schwerdtfeger +)

1 Einleitung

Die Grundwassererneuerung findet bisher überwiegend durch natürliche Veräckerung der am Ort fallenden Niederschläge statt. Bei starker Beanspruchung des Grundwassers für die Trink- und Brauchwasserversorgung wird eine zusätzliche Grundwassererneuerung durch die Versickerung von sonst oberflächlich abfließendem Niederschlagswasser erreicht.

Dessen unregelmäßiger Abfluß ist die Ursache der Wassererosion. Deren Bekämpfung erfordert Maßnahmen, die den Oberflächenabfluß so beeinflussen, daß Erosionsschäden vermieden werden.

2 Wasserwirtschaft nach Menge und Güte

Mit den für eine zusätzliche Grundwasserversickerung erforderlichen Maßnahmen, wie sie zum Beispiel im Frankfurter Stadtwald vom Südufer des Mains ausgehend durchgeführt werden ( 2 ), wird nicht nur die Wassermenge sondern auch die Güte des Grundwassers verbessert. Flußwasser ist für eine derartige Versickerung oft wenig geeignet, da die Verunreinigung mit für Trinkwasser schädlichen Stoffen meist besonders hoch ist. Wenn diese Schadstoffe auch zum größten Teil vom Bodenfilter zurückgehalten werden, ist die unmittelbare Versickerung von Niederschlagswasser für die Güte des Grundwassers günstiger.

3 Regenrückhalte- und Versickerungsbecken

Die Oberflächenentwässerung von durch Baumaßnahmen versiegelten Flächen erfolgt über Kanäle, Mulden oder Seitengraben durch Einleitung in Vorfluter. Wenn diese durch Spitzenabflüsse zu stark belastet werden, wird durch den Bau von Regenrückhaltebecken der Spitzenabfluß gebrochen. Da diese aber im allgemeinen in der Nähe eines Vorfluters sind, ergibt aus derartigen Regenrückhaltebecken kaum eine Grundwassererneuerung durch Versickerung zu erwarten.

+ ) Am Tannenmoor 34, 3113 Suderburg

Wenn beim Neubau von Straßen, wie auf neuen Autobahntrassen, für die Einleitung der Oberflächenentwässerung keine ausreichenden Vorfluter in unmittelbarer Nähe zur Verfügung stehen, kann es wirtschaftlicher und sinnvoller sein bei geeigneten Boden- und Grundwasserverhältnissen das Oberflächenwasser in den Untergrund zu versickern. LANGE ( 1 ) hat sich mit der Anlage von Versickerungsbecken zur Aufnahme von Straßenabflüssen befaßt. Er beschreibt ihre hydraulische Wirkung, die Zusammenhänge zwischen Einzugsgebiet und Beckenfläche, den Verlauf der bodenabhängigen Selbstdichtung und deren zeitlichen Verlauf. Beim Betrieb solcher Versickerungsbecken ist die Häufigkeit, in welcher sie gereinigt werden müssen, um ausreichende Sickerleistungen langfristig sicherzustellen, für die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Durch parallel geschaltete Schluckbrunnen für die Aufnahme von Starkregen kann die Sickerleistung wesentlich verbessert werden.

#### 4 Standorte mit Wassererosion

Vorübergehend vegetationsfreie Ackerböden unterliegen relativ stark der Erosion. Faktoren, welche zur Erosion durch Bodenabtrag führen, sind: Menge und Intensität der Niederschläge, Gefüge und Körnung des Bodens, Hanglänge und -neigung und Bodennutzung. Ein Niederschlag, der auf übermäßig übermäßig nasse Böden trifft, hat auch bei geringerer Menge eine stärkere Erosionswirkung.

Tab.1 Verteilung eines Niederschlages von 50 mm in der Zeit vom 21.-24. Mai 1984 in Suderburg, Kreis Uelzen

Datum	Uhrzeit	mm Regen
21.5.	8.30 - 21.15	6
22./23.5.	19.50 - 13.00	23,7
23.5.	13.00 - 21.30	0,8
23./24.5	21.30 - 6.00	5,8
24.5.	17.40 - 17.50	14,7
21./24.5	0.00 - 24.00	50.0

Am 24. Mai 1984 wurden durch einen Kurzregen von nur 10 Minuten Dauer mit einer Niederschlagsmenge von etwa 15 mm erhebliche Erosionsschäden verursacht. Dies war aber nur möglich, weil durch die vorangegangenen Regenfälle ( siehe Tabelle 1 ) bei mehreren Tagen mit sehr geringer Verdunstung der Boden übermäßig war.

## 5 Versickerung von Oberflächenwasser

Nach einem vor allem in der zweiten Monatshälfte regenarmen April, brachte der Mai bis 17. bereits 30 mm Niederschlag. Dadurch war bei guter Versickerung der Boden weitgehend aufgefüllt. Die in Tabelle 1 aufgeführten Regenfälle vom 21. bis 23. führten zu einer erheblichen Übernässung.

Um den zehnminütigen Starkregen am 24. Mai von 17.40 - 17.50 Uhr schadlos zur Versickerung bringen zu können, sind zusätzliche Einrichtungen erforderlich. Diese müssen je 1000 m<sup>2</sup> zu schützende Fläche etwa 10 m<sup>2</sup> Versickerungsfläche aufweisen. Wenn auf diesen 10 m<sup>2</sup> durch Eintrag von Feinboden und organischer Substanz die Gefahr der Selbstdichtung besteht, sind sie durch ein bis zwei Schluckbrunnen zu ergänzen.

## 6 Auswirkungen einer Versickerung auf das Grundwasser

### a) in Menge

Durch den Starkregen am 24. Mai 1984 kam es im Hauptvorfluter, der Ilmenau, zu einer deutlichen Hochwasserwelle. Um diese zu verhindern, hätten mindestens 30 mm zur Versickerung gebracht werden müssen. Im ersten Quartal 1984 sind im gleichen Gebiet 162 mm Niederschlag gefallen, die über die Ilmenau in mehreren Hochwasserwellen abgeflossen sind. Daraus ist abzuleiten, daß von Jahresbeginn bis zum Einsetzen des vollen Wachstums etwa 100 mm für eine zusätzliche Versickerung durch dafür geeignete Maßnahmen zur Verfügung standen.

### b) und Güte

Zahlreiche, im Grundwasser gelöste Stoffe beeinflussen seinen Wert als Trinkwasser und erfordern oft sehr kostspielige Aufbereitungsverfahren. Mit der Nitratkonzentration wird einer dieser Stoffe erfaßt, der durch zahlreiche Veröffentlichungen in letzter Zeit in breiter Öffentlichkeit ein zunehmendes Interesse gefunden hat. WOHLRAB ( 3 ) weist darauf hin, daß das Grundwasser unter Ackerflächen, auf denen längere Zeit mit Fruchtfolgen mit gering bodendeckenden oder fehlenden Pflanzenbeständen gewirtschaftet wird, wesentlich höhere Nitratkonzentrationen aufweist. Sie sind auf das Sickerwasser zurückzuführen, in dem gleichzeitig starke Konzentrationsschwankungen auftreten.

Um die im Niederschlag vorhandene bessere Qualität zu erhalten, sollte die Versickerung nicht auf intensiv bewirtschafteten, zur Zeit vegetationsfreien Flächen erfolgen. Der mögliche Oberflächenabfluß ist auf möglichst kurzen Wege auf nicht gedüngte

Flächen abzuleiten und dort zur Versickerung zu bringen. Dabei entstehen Kleingewässer, die zeitweilig trockenfallen können.

#### 7 Biologische Bedeutung von Kleingewässern

Mindestens 10 m<sup>2</sup> große Versickerungsbecken sind Kleingewässer. Nicht nur floristisch sondern vor allem faunistisch haben sie bei enger Vernetzung in der Landschaft eine große Bedeutung für den Artenschutz.

8 Unterbringung von Versickerungsbecken in der Kulturlandschaft Die vorstehend angesprochene Vernetzung wird nur erreicht, wenn die einzelnen Biotope nur wenige hundert Meter voneinander entfernt sind. Daher ist jede Flurgrenze so breit auszubilden, daß dort Versickerungsbecken angelegt werden können. Besonders geeignet sind natürliche und künstliche Terrassen, Windschutzstreifen und Wegeseitenräume. Versickerungsräume sollen keineswegs nur als Absetzbecken in den Tallagen liegen, sondern möglichst weit hangaufwärts angelegt werden.

#### 9 Zusammenfassung

Erosionsschutz auf vegetationsfreien Ackerflächen muß ein längeres Fließen von Oberflächenwasser verhindern. Dies kann durch Ableiten in möglichst weit hangaufwärts liegende Versickerungsbecken erreicht werden. Auf 1000 m<sup>2</sup> zu schützende Fläche werden 10 m<sup>2</sup> Versickerungsraum benötigt.

Bei ausreichender Zahl kann mit 100 mm überschüssigem Abfluß von Januar bis Mai großflächig die Grundwassererneuerung gesteigert werden. Eine enge Vernetzung der Versickerungsräume hat für den Artenschutz vor allem im faunistischen Bereich große Bedeutung.

#### Literatur

LANGE, G.: Versickerungsbecken zur Aufnahme von Straßenabflüssen - Anwendungsmöglichkeiten und Betriebserfahrungen. Forschungsgeg. f. Straßen- u. Verkehrswesen - Schriftenreihe Erd. u. Grundbau, Heft 4 Kirschbaum Verlag - Bonn - Bad Godesberg, 1983, 38 - 45.

RISSLAND, W.: Die Mainwasseraufbereitung und Grundwasseranreicherung der Stadtwerke Frankfurt/M., Wasser und Boden, Heft 4/1981.

WOHLRAB, B.: Zur Grundwasserneubildung-Menge und Qualität, Arbeiten der DLG, Band 177, DLG Verlag Frankfurt/M., 1983, 54 - 68.

Entwicklung einer Erosions-Gefahrenstufenkarte für  
ein Flurbereinigungsgebiet in Osthessen

von

Sokollek, V. und K. Wulff +

1. Anlaß der Untersuchung

Das Institut für Landeskultur der Universität Giessen erhielt vom Hessischen Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung, Abteilung Landentwicklung in Wiesbaden, den Auftrag, ein ökologisch-landeskulturelles Gutachten für die Gemeinde Grebenau zu erstellen (1). Die Gemeinde (LN ca. 20km<sup>2</sup>) liegt im Gebiet des Unteren Buntsandstein im nördlichen Vogelsbergkreis in etwa 300-400m Höhe ÜNN. Alle Feldlagen weisen aufgrund der Reliefsituation, des schluff- und feinsandreichen Bodens und intensiver ackerbaulicher Nutzung starke Erosionsschäden auf. Ein besonderes Problem stellt der in Grebenau verbreitete Erdbeeranbau dar. Er bewirkt extremen Bodenabtrag. Zugleich leiden die Ortslagen unter Schadenshochwässern. Bei dem hier anstehenden Flurbereinigungsverfahren sollen deshalb Maßnahmen zur nachhaltigen Verminderung von Oberflächenabfluß und Bodenerosion durchgeführt werden. Dazu wird im Rahmen des Gutachtens zunächst die Erosionsgefährdung des Gebietes räumlich differenziert erfaßt. Das Gutachten macht sodann u.a. begründete Aussagen über eine zweckmäßige, dem Bodenschutz Rechnung tragende Wegenetzgestaltung sowie die anzustrebende Acker-Grünland-Verteilung.

2. Bestimmung der Erosionsgefährdung

Zur Bestimmung der Erosionsgefährdung wird ein Verfahren verwendet, das Elemente der Gießener Erosionsgefährdungskartierung nach KURON/JUNG (2) und der Methode nach WISCHMEIER/SCHWERTMANN (3,4) enthält. Hinzu kommen eigene Geländeaufnahmen zur Hydrologie und zum aktuellen Erosionsgeschehen. Von KURON/JUNG wird das Prinzip der Ausschcheidung von Erosionsgefährdungsstufen übernommen. Ein gewisser Nachteil dieses in den 50er und 60er Jahren entwickelten sog. Gießener Verfahrens liegt darin, daß die Einteilung der Gefahrenstufen nicht anhand von einfach zu bestimmenden Grenzwerten der verwendeten Parameter (wie Bodenart, Geländeneigung, Klima) erfolgt. Vielmehr ist eine große Erfahrung des Bearbeiters und Kartierers erforderlich, um die

+ Institut für Mikrobiologie und Landeskultur der Justus-Liebig-Universität, Senckenbergstr.3, 6300 Giessen

einzelnen erosionsbeeinflussenden Faktoren richtig in Beziehung setzen und daraus Gefahrenstufen ableiten zu können.

Wir versuchen diesem Nachteil dadurch zu begegnen, daß wir im Wesentlichen von objektiven, aus Karten und Geländebeobachtungen einfach zu bestimmenden Faktoren ausgehen. Diese Faktoren sind Hangneigung, Geländeform und hydrologische Situation.

Von den wenig veränderlichen Standortfaktoren ist die Hangneigung diejenige, die den Boden abtrag am stärksten variiert. Deshalb erfolgt eine Festlegung der Gefahrenstufen zunächst nach bestimmten Hangneigungsgrenzwerten, die der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG(5) zu entnehmen sind und in etwa den Erfahrungen von KURON/JUNG entsprechen.

Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Hangneigungsbereiche und die dazu gehörenden Gefahrenstufen; Erläuterung zur rechten Spalte siehe Kap.5.

Gefahrenstufe	Hangneigung	Erosionsgefahr bei tonarmen, schluffreichen Böden	Zulässige Hanglänge (T=10)
			(R=53, K=0,45, C=0,3, P=0,8)
1 (I) *	0-2%	keine bis beginnende	>300m
2 (II)	2-5%	sehr schwache bis schwache	>300m
3 (IIIa)	5-9%	mittlere	~150m
4a (IIIb)	9-12%	starke	~40m
4b (IIIb)	12-18%	sehr starke	~15m
5 (IV)	>18%	sehr starke bis extreme für Ackerbau nicht geeignet	<10m

\* römische Ziffern: ungefähr entsprechende Stufen nach KURON/JUNG

Tabelle 1: Kennzeichnung der Erosions-Gefahrenstufen ( gilt für nicht vernäbte Bereiche und nicht für Hangmulden und Täler)

Abweichend von dieser Einteilung werden Hangmulden und Tälchen, in denen Oberflächenwasser konvergieren kann, durchweg in die ungünstigste Gefahrenstufe eingeordnet, wie es auch KURON/JUNG getan haben. Außerdem werden die hydrologischen Standortverhältnisse in der Weise berücksichtigt, daß Vernässungen und Naßgallen sowie die unterliegenden Flächen in eine ungünstigere Gefahrenstufe eingeordnet werden, als diejenige, die sich allein aus der Hangneigung ergäbe.

Talauen werden als eigene Einheit neben den Gefahrenstufen dargestellt. Im allgemeinen sind sie nur zur Grünlandnutzung geeignet.

Ausgehend von den in den Gefahrenstufen vorkommenden Hangneigungen kann man mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) (4) für verschiedene Randbedingungen die maximal zulässigen Hanglängen berechnen, die bei der Flurneuordnung nicht überschritten werden sollten. Die zur Anwendung der ABAG benötigten weiteren Faktoren R, K, C, P wurden für die Feldlagen von Grebenau bestimmt (1).

### 3. Praktische Herstellung einer Gefahrenstufenkarte

Als Grundlage zur Herstellung der Gefahrenstufenkarten dienen Flurkarten im Maßstab 1:5000 mit eingedruckten Höhenlinien (in 2,5m-Höhenschritten). Die Isohypsen wurden aus Luftbildkarten (1:5000) übernommen. An Kartenmaterial wird desweiteren die GEOLOGISCHE KARTE 1:25000 verwendet (6). Mit ihrer Hilfe lassen sich die Talauen ausscheiden (Bereiche des Auelehms).

Aufgrund der Isohypsendarstellung in den Flurkarten werden die Hangneigungsbereiche ausgeschieden. Im Gelände vorgenommene Prüfmesungen ergaben gute Obereinstimmungen mit den Ergebnissen der Kartenauswertung.

Die im niederschlagsreichen Frühjahr 1983 aufgenommenen Vernässungen sind, wie im vorigen Abschnitt bereits erläutert, bei der Abgrenzung der Gefahrenstufenbereiche zu berücksichtigen; z.B. wird eine vernässte Fläche mit einer Hangneigung von 2-5% statt in Gefahrenstufe 2 in die ungünstigere Stufe 3 eingeordnet. Generell die schlechteste Gefahrenstufe 5 erhalten die Hangmulden und Nebentäler (für Ackerbau nicht geeignet). Sie werden sowohl mit Hilfe der Geologischen Karte, in der sie als holozäne Ablagerungen und Abschwemmassen dargestellt sind, als auch aufgrund von Geländebeobachtungen (Bereiche starker linienhafter Erosion) ermittelt.

### 4. Erläuterung der Gefahrenstufe

Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Gefahrenstufenkarte. Die Abfolge der Gefahrenstufenbereiche spiegelt die Reliefver-

hältnisse in diesem Buntsandsteingebiet wider: man erkennt einen kleinräumigen Wechsel von Riedeln und Tälchen. Schwach geneigte Flächen finden sich auf den Höhen der Riedel, deren Flanken von Bereichen größerer Hangneigung, hier zu erkennen an höheren Gefahrenstufen, eingenommen werden. Die Hänge sind meist konvex geformt, d.h. der relativ steile Unterhang grenzt unmittelbar an die relativ flache und schmale Talsohle an. Daraus ergeben sich breite Zonen der Stufe 5. Die Vernässung im oberen Kartenausschnitt wurde in Stufe 5 eingeordnet. Sie ist Ursprung von abfließendem Oberflächenwasser, das auf unterliegenden Akkern Erosionsrinnen verursacht. (Die aktuellen Erosionsformen des Frühjahrs 1983 wurden auf gesonderten Schadens- und Bodennutzungskarten dargestellt (1). Hier kann nicht gesondert auf sie eingegangen werden.) Auf den Flächen mit LÖB-(lehm)decken sind größere Bodenabträge zu tolerieren. Dieser höhere Toleranzwert hat Einfluß auf die Ermittlung der maximal zulässigen Hanglängen.

#### 5. Konsequenzen für die Flurbereinigung bzw. zukünftige Bodennutzung

Mit der ABAG ist seit einiger Zeit ein Instrument vorhanden, mit dem die Wirkungen von Maßnahmen der Flurneuordnung im Hinblick auf Bodenabtragsmengen relativ gut abgeschätzt werden können. Legt man einen Toleranzwert für den Bodenabtrag fest, lassen sich mit Hilfe der ABAG maximal zulässige Hanglängen bestimmen, die bei der Neugestaltung der Feldlagen eingehalten werden müssen. Tabelle 1 zeigt neben den Gefahrenstufen in der rechten Spalte die jeweils zugehörigen Größenordnungen von maximal zulässigen Hanglängen. "Maximal zulässige Hanglänge" meint dabei den Abstand zwischen zwei Wegen oder Rainen, die annähernd hangparallel geführt werden und evtl. auftretenden Oberflächenabfluß abfangen können müssen. Die hier verwendeten, in die ABAG eingehenden Größen der Faktoren gelten für die Verhältnisse in Grebenau. Es wurde ein tolerierbarer Abtrag von 10t/ha/Jahr unterstellt, der allerdings nur für tiefgründige Böden zugelassen werden kann. Trotzdem wird schon hier deutlich, daß sich bereits ab Gefahrenstufe 4a (ca. 10% Hangneigung) unrealistisch kurze Hanglängen ergeben. Für die häufig anzutreffenden flach- oder mittelgründigen Flächen, für die  $T = 5t/ha/Jahr$  gilt, werden die maximal zulässigen Hanglängen von ca. 50m (50m ist u.E. ein realistisch anzunehmender, noch durchsetzbarer Minimumwert) schon in der Gefahrenstufe 3 bei 6% Hangneigung erreicht (1). Es zeigt sich also, daß auf vielen Flächen durch Maßnahmen der Flurneuordnung allein kein effektiver Bodenschutz erreicht werden kann. Eine mögliche Lösung läge in einer Erniedrigung des C-Faktors, z.B. durch Stroheinarbeitung, Zwischenfruchtanbau u.ä. Abbildung 2 zeigt die Wirkung eines erniedrigten C-Faktors für drei verschiedene Toleranzniveaus des Abtrags. Die Hangneigungen, die noch eine maximale Hanglänge von 50m (s.o.) erlauben, steigen bei erniedrigtem C-Faktor, z.B. kann eine Hanglänge von 50m bei dem Toleranzniveau von  $T = 5t/ha/Jahr$  und einem  $C = 0,3$  auf Flächen bis 6% Neigung einen ausreichenden Bodenschutz sicherstellen, bei einem  $C = 0,2$



aber auf Flächen bis 9% Neigung. Entsprechendes gilt für die übrigen Toleranzniveaus. Abgesehen von einer Erniedrigung des C-Faktors werden u.a. noch folgende Bodenschutzmaßnahmen vorgeschlagen:

- a) Vernäßte Flächen können durch evtl. Kulturtechnische Maßnahmen wie Tieflockern und/oder Dränungen hinsichtlich ihrer Erosionsgefährdung verbessert werden, so daß kein Oberflächenabfluß mehr von ihnen ausgeht.
- b) Durch eine günstigere Verteilung von Acker und Grünland lassen sich Erosionsprobleme teilweise lösen. In 2 Gemarkungen der Gemeinde Grebenau ist jedoch der Flächenanteil der Gefahrenstufe 5 (incl. Talauen; für Ackerbau nicht geeignet) z.B. größer als der gegenwärtige Grünlandanteil. Dieses Dilemma läßt sich nur teilweise durch einen Austausch von Ackerflächen in Steilhanglagen (Stufe 5) mit Grünland in weniger gefährdeten Lagen beheben. Prinzipiell wäre eine Erosionsverminderung hier wohl nur durch eine Ausweitung des Grünlandes zu erreichen.
- c) Der systematische Streifenbau als eine weitere Maßnahme des Bodenschutzes (Erniedrigung des P-Faktors) sei noch genannt. Da er aber nur in Verbindung mit Konturnutzung sinnvoll angewandt werden kann, wären in kleinparzelliertem Gelände hangparallele Grundstücksgrenzen sowie entsprechende Beratung von Seiten der Landwirtschaftsverwaltung nötig, um diese Technik verbreitet anzuwenden.

#### Literatur

- (1) SOKOLLEK, V., K. WULFF, B. WOHLRAB (1984): Ökologisch-landeskulturelles Gutachten zu künftigen Flurbereinigungsverfahren in der Gemeinde Grebenau (Vogelsbergkreis) unter besonderer Berücksichtigung der Bodenerosion; erstellt im Auftrag des HELELL, Abt. Landentwicklung, Wiesbaden (unveröffentlicht)
- (2) KURON, H., L. Jung (1961): Untersuchungen über Bodenerosion und Bodenerhaltung im Mittelgebirge als Grundlage für Planungen bei Flurbereinigungsverfahren, Z.f.Kulturtechn. (2), Heft 3
- (3) SCHWERTMANN, U. (1981): Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser in Bayern, Bayer. Staatsmin. f. Ern., Landw. und Forsten, Selbstverlag
- (4) WISCHMEIER, W.H., D.D. SMITH (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to conservation planning, USDA Agricultural Handbook No. 537
- (5) BODENKÜNDLICHE KARTIERANLEITUNG (1982): hrsg. von der Arbeitsgruppe Bodenkunde der geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der BRD, 3. Auflage, Hannover
- (6) GEOLOGISCHE KARTE VON HESSEN 1:25000 (1968): Blatt Nr. 5222 Grebenau, hrsg. vom Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Selbstverlag

Die Mulchsaat zu Zuckerrüben -  
eine Möglichkeit zur Minderung des Bodenabtrages

von

Sommer, C. und Zach, M.

1. Problemstellung

Die besondere Bedeutung, die der Bedeckung der Bodenoberfläche als Schutzmaßnahme gegen Bodenabtrag durch Wasser oder Wind zukommt, ist aufgrund zahlreicher Arbeiten belegt (Wischmeier und Smith 1965; Holt und Carlson 1978; Allmaras, Gupta, Pikui und Johnson 1979; Lindstrom, Gupta, Onstad, Larson und Holt 1979; Skidmore, Kimar und Larson 1979). Schwertmann und Mitarbeiter bemühen sich, das von Wischmeier und Smith entwickelte Verfahren zur Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser an die Verhältnisse in Bayern anzupassen. Mit sechs Parametern werden die wichtigsten erosionsbedingten Faktoren erfaßt. Hierzu gehört der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C als "...das Verhältnis des Bodenabtrages eines Hanges mit beliebigen Kulturverfahren (Kulturpflanze, Bedeckungsgrad, Bearbeitungsverfahren etc.) zu dem des Standardhanges unter Schwarzbrache und konventioneller Bearbeitung bei sonst gleichen Bedingungen" (Schwertmann u.a.).

Auf diesen C-Faktor zielt die Institutsarbeit zu diesem Thema ua. ab. Anlaß sind die drängenden Probleme, die landwirtschaftliche Betriebe in Südostniedersachsen mit der Wassererosion und auf leichten Sandböden mit der Winderosion haben. Ziel der Arbeiten ist es, die herausragende Bedeutung einer Bedeckung der Bodenoberfläche als Schutzmaßnahme gegen den Bodenabtrag für den betroffenen Betrieb zu untersuchen. Seit 1980 laufen diese Arbeiten unter dem Gesamtkonzept der KONSERVIERENDEN BODENBEARBEITUNG (Sommer, Zach und Dambroth 1981).

---

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig Völkenrode (FAL).

Unter diesem Begriff werden - auch weiteit - Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren verstanden, die darauf beruhen, daß die pflanzlichen Reststoffe der Vor- oder Zwischenfrucht nicht tief, sondern nur flach eingearbeitet werden oder ganz auf der Bodenoberfläche verbleiben. Die Zielsetzung für das Konzept ist neben der Minderung von Bodenerosionen die Stabilisierung des Bodengefüges (Folgen: verbessertes Wurzelwachstum in die Tiefe, höhere Infiltration, geringere Verschlämmung, bessere Tragfähigkeit für leistungsstarke Maschinen u.a.), die Ausschöpfung möglicher Kostenreduzierungen sowie der Verdunstungsschutz.

## 2. Ergebnisse und Diskussion

Mögliche Alternativen der KONSERVIERENDEN BODENBEARBEITUNG werden hinsichtlich unterschiedlicher Fruchtfolgen unter dem Dach des **INTEGRIERTEN PFLANZENBAUES** (Dambroth 1982) untersucht, wobei z.Z. Teilfragen zu Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln - als die empfindlichsten erosionsgefährdeten Reihenfrüchte - zu lösen sind.

Ein Baustein der KONSERVIERENDEN BODENBEARBEITUNG ist die Mulchsaat zu Zuckerrüben (Sommer und Zach 1983). Baut der Landwirt in der Fruchtfolge - Wintergerste; Zuckerrüben, Winterweizen - nach der Gerste im Hinblick auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit eine Zwischenfrucht an, so pflügt er diese gewöhnlich ein, um den 'reinen Tisch' für die Drilltechnik zu Zuckerrüben zu schaffen. Ist er mehr und mehr auch daran interessiert, Erosionen vorzubeugen und Kosten einzusparen, dann würde er bei vorhandener guter Bodenstruktur nach der Zwischenfrucht auf jegliche - speziell wendende - Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben verzichten, wenn technische und pflanzenbauliche Voraussetzungen für eine Mulchsaat ohne Saatbettbereitung gegeben sind:

Teilbereich	Mulchsaat	
Bezeichnung	Mulchsaat <b>mit</b> Saatbettbereitung	Mulchsaat <b>ohne</b> Saat- bettbereitung
Definition	flach eingearbeitete Reststoffe der Vor- oder Zwischenfrucht	Bedeckung der Ackerober- fläche mittels pflanz- licher Reststoffe
Ziel	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bodenruhe/Gefügebildung</li><li>- Vorbeugung vor Bodenerosion</li><li>- Kosteneinsparung</li></ul>	
Sätechnik	Weiterentwicklung herkömmlicher Drill- technik	bandbreites Räumen vor den herkömmlichen Drill- aggregaten

Gemeinsam mit Firmen der Landmaschinenindustrie (gedankt sei an dieser Stelle den Firmen Becker, Gieselwerder; Kleine, Salzkotten; Weichel, Heiningen; Weiste, Soest) wurde ein Maschinen-Prototyp entwickelt, Abb. 1 und 2, der nach ersten Tests 1983 und 1984 in Betrieben Niedersachsens eingesetzt wurde.



Abb. 1: Zuckerrübindrillgerät, Prototyp 1983

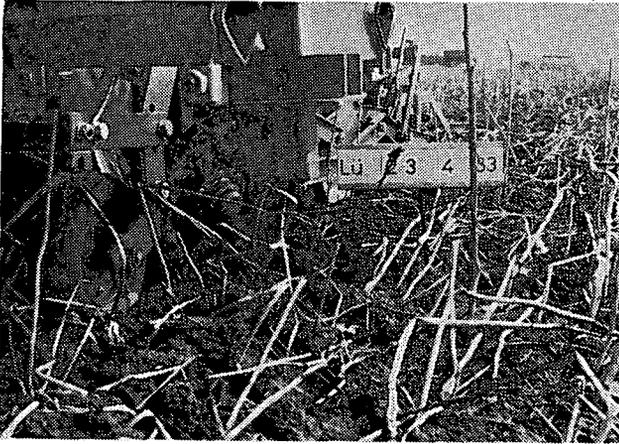


Abb. 2: Die Räumgruppe besteht aus zwei angestellten  
Hohlscheiben

Das bandbreite Räumen der Reststoffe, Abb. 3, ermöglicht die störungsfreie Einsaat mittels vorhandener Einzelkorndrillmaschinen, hält einen hohen Anteil der Bodenoberfläche bedeckt (das geräumte Band wird häufig durch Wind wieder zugedeckt) und läßt das pflanzengerechte Bodengefüge nach der Zwischenfrucht kostensparend ausnutzen.

Für den Landwirt sind - neben der Erhaltung der Bodendurchdringbarkeit - Feldaufgang und Ertrag letztlich ausschlaggebend. Erste Erhebungen in Betrieben zeigen, daß weniger Bodenbearbeitung nicht weniger Ertrag bedeuten muß, Abb. 4. Neben der Beantwortung einiger anderer Teilfragen steht der quantitative Beleg für die Erosionsminderung durch die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung noch aus.



Abb. 3: Arbeitseffekt des Prototypen

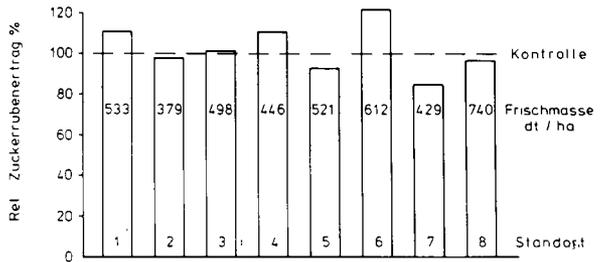


Abb. 4: Zuckerrübenerträge nach Mulchsaat ohne Saatbettbereitung auf 8 Standorten in Niedersachsen 1983 im Vergleich zur Pflugbearbeitung bzw. Mulchsaat mit Saatbettbereitung

### 3. Literatur

- Allmaras, R.R.; Gupta, S.C.; Pikul, J.L.; Johnson, C.E. (1979): Tillage and plant residue management for water erosion control on agricultural land of eastern Oregon. - J. Soil and Water Cons. 34 (2), 85-90
- Dambroth, M. (1982): Konservierende Bodenbearbeitung - eine Trendwende in der pflanzlichen Produktion. - Agrar-Übersicht 5
- Larson, W.E.; Holt, R.F.; Carlson, C.W. (1978): Residues for resource conservation, soil productivity, and environmental protection. - In W.R. Oschwald (ed) Crop Residue Management Systems. Spec. Pub. 31. Am. Soc. Agron., Madison, Wise
- Lindstorm, M.J.; Gupta, C.S.; Onstad, C.A.; Larson, W.E. and Holt, R.F. (1979): Tillage and crop residue effects on soil erosion in the Corn Belt. - J. Soil and Water Cons. 34 (2), 94-96
- Schwertmann et al.: Die Vorausschätzung des Bodenabtrages durch Wasser in Bayern. - Ringbuch des Bayer. Staatsministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- Skidmore, E.L.; Kimar, M.; Larson, W.E. (1979): Crop residue management for wind erosion control in the Great Plains. - J. Soil and Water Cons. 34 (2), 90-94
- Sommer, C.; Zach, M. und Dambroth, M. (1981): Bodenerosion erfordert alternative Formen der Bodenbearbeitung. - Bericht über Landwirtschaft 197, sh. Parey-Verlag, 71-77
- Sommer, C.; Zach, M. (1983): Die Mulchsaat zu Zuckerrüben - ein Baustein der Konservierenden Bodenbearbeitung. - Die Zuckerrübe 32 (4), 192-194
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. - Agr. Handbook 282, U.S. Dept. Agr. Washington, D.C. 47 pp