Mitt. Pollichia	67	9-28	3 Abb.	7 Tab.	Bad Dürkheim/Pfalz 1979
					ISSN 0341·9665

Freia JUNG & Gerhard DREYER †

Die Rolle der mineralischen Bestandteile des Bodens und deren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung, betrachtet am Beispiel der Umgebung von Eulenbis/Pfalz

Kurzfassung

JUNG, F. & DREYER, G. † (1979): Die Rolle der mineralischen Bestandteile des Bodens und deren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung, betrachtet am Beispiel der Umgebung von Eulenbis/Pfalz. — Mitt. Pollichia, **67**: 9—28, Bad Dürkheim/Pfalz.

Die mineralischen Bestandteile des Bodens liegen in Form von primären oder sekundären Mineralen und anderen festen oder gelösten Substanzen, wie Mineralien, Kolloide, Nährstoffe, Lösungen usw., vor. Ihre Rolle innerhalb des Bodens im allgemeinen und an mehreren Beispielen im Raum Eulenbis wird hier aufgezeigt. Als wichtige Faktoren bei der Bodenentwicklung sind in Abhängigkeit von Klima und Verwitterung insbesondere das Ausgangsgestein, die Bodenreaktion und das Bodengefüge zu nennen. Für die Nutzung des Bodens haben der Kalkgehalt, pH-Wert, Tonmineralanteil und Nährstoffgehalt die größte Bedeutung. Anhand von vier Bodenstandorten im Raum Eulenbis werden durch verschiedene Versuchsanordnungen die mineralischen Bestandteile ermittelt und ihr Verhalten in den Böden aufgezeigt. Diese Böden liegen derzeit weit unter dem landwirtschaftlich günstigen Nutzungsbereich. Eine intensive Versauerung führt an den untersuchten Standorten zu einer schlecht ausgebildeten Bodenstruktur, zur Auswaschung von Nährstoffen sowie zu einem erheblichen Defizit an Kalkgehalt, austauschfähigen Tonmineralen und notwendigen Humusstoffen. Um diesen ungünstigen Bedingungen abzuhelfen, werden Möglichkeiten zur Verbesserung der Bodenqualität vorgeschlagen.

Abstract

JUNG, F. & DREYER, G. † (1979): Die Rolle der mineralischen Bestandteile des Bodens und deren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung, betrachtet am Beispiel der Umgebung von Eulenbis/Pfalz. [The role of mineral constituents in the soil and their influence on agriculture in the area of Eulenbis/Palatinate]. — Mitt. Pollichia, **67**: 9—28, Bad Dürkheim/Pfalz.

The mineral constituents of the soil are primary and secondary minerals and other solid or dissolved substances such as minerals, colloids, nutritive substances, solutions etc.

Their role in the soil will be shown here generally and with several examples of the area of Eulenbis. The most important facts of the development of the soil are the relation between climate and whethering, especially the source rocks, pH-value of the soil and soil structure.

For agricultural usage lime content, pH-value, percentage of clay minerals and soil nutrients are the most important facts. Four diffrent sites in the area of Eulenbis were chosen to find out the mineral constituents by various experimental arrangements and to show their reaction in the soil.

At present these soils lie beneath any propitious usage to agriculture.

A strong increase in acidity leads to a less developed soil structure, to a washing-out of soil nutrients as well as to an extreme deficit of the lime contents, interchangeable clay minerals and necessary humus substances. To remedy these bad conditions possibilities to improve the quality of the soil will be given.

Résumé

JUNG, F. & DREYER, G. † (1979): Die Rolle der mineralischen Bestandteile des Bodens und deren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung, betrachtet am Beispiel der Umgebung von Eulenbis/Pfalz [Le rôle des composants minéraux du sol, et leur influence sur l'utilisation agricole, considérée en exemple, des environs d'Eulenbis/Palatinate]. — Mitt. Pollichia, **67**: 9—28, Bad Dürkheim/Pfalz.

Les composants minéraux du sol consistent en minéraux primaires ou secondaires et autres substances solides ou dissoutes comme des minéraux, colloïdes, substances nutritives, solutions etc. On montre ici, leur rôle, à l'intérieur du sol, en général, et dans plusieurs exemples, aux environs d'Eulenbis. Il faut citer la réaction et la composition du sol et en particulier les roches initiales comme facteurs importants dans l'évolution du sol, facteurs assujettis au climat et à l'érosion. Le contenu en chaux, la valeur du pH, la partie minérale argileuse, et le contenu en substances nutritives ont la plus grande signification pour l'utilisation du sol. Dans quatre localités du sol, aux alentours d'Eulenbis, grâce à differents dispositifs de recherches, on a découvert des composants minéralogiques et donné leur comportement dans les sols. Ces sols se trouvent, à présent, loins sous le domaine propice d'exploitation agricole. Une acidification intensive conduit, dans les localités contrôlés, à une structure du sol mal accomplie, au ravinement des substances nutritives, de même qu'à un important déficit en chaux, en minéraux argileuses échangeables et en substances d'humus nécessaires. Pour pourvoir à ces conditions défavorables, on propose des possibilités pour l'amélioration de la qualité du sol.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Die vorliegenden Ergebnisse wurden vor allem im Rahmen einer Oberstufen-Facharbeit am Heinrich-Heine-Gymnasium Kaiserslautern erarbeitet. Die experimentellen Untersuchungen wurden im Institut für Geowissenschaften an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz durchgeführt. Für die Vergabe des Themas und wertvolle Diskussionsbeiträge, insbesondere nach Abgabe der Arbeit, sei Herrn Studienrat KELLER, Kaiserslautern, vielmals gedankt. Für die tatkräftige Hilfe bei der Durchführung der chemischen Analysen schulden wir Frau und Herrn KOST, beide im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Mainz, besonderen Dank.

Im Raum Eulenbis sollten an verschiedenen Standorten Bodenproben entnommen und hinsichtlich der mineralischen Bestandteile untersucht werden. Die in der bodenkundlichen Literatur beschriebenen Zusammenhänge zwischen den mineralischen Rohstoffen und ihrer Wirkungsweise in den Böden sollte kurz zusammengefaßt werden und soweit möglich, anhand der entnommenen Bodenproben durch einfache experimentelle Versuchsanordnungen nachvollzogen und dargestellt werden. Ziel der Arbeit war es schließlich, Aussagen über die landwirtschaftliche Nutzbarkeit dieser Böden und über die Möglichkeiten einer Ertragssteigerung bzw. Bodenverbesserung zu machen.

1.2 Definition der mineralischen Bestandteile des Bodens

Die mineralischen Bestandteile des Bodens sind die einzelnen Komponenten des Ausgangsgesteines, die sogenannten „Minerale" sowie alle festen Produkte, die aus der Umbildung dieser Minerale im Boden entstehen. Die Minerale als natürliche Bestandteile der Erdkruste zeichnen sich gewöhnlich durch ihren kristallinen Zustand aus, d. h. ihre Bausteine, die Atome, sind räumlich gesetzmäßig angeordnet und die chemische Zusammensetzung ist einheitlich. Häufig bezeichnet man die bei der Bildung des Gesteines vorhandenen Minerale als „primäre Minerale", während man die durch Zersetzung oder Umlagerungsprozesse neu entstandenen Minerale als „sekundäre Minerale" bezeichnet. Da

alle Gesteine und somit auch die Minerale an der Erdoberfläche ständig wechselnden physikalisch-chemischen Bedingungen ausgesetzt sind, die von ihren Bildungsbedingungen abweichen, bestehen starke Ungleichgewichte, die zur Zersetzung und ständigen Umbildung der Minerale Anlaß geben.

Von den in der Natur vorkommenden mehr als 3 000 Mineralen sind nur etwa 50 als wichtige, „gesteinsbildende Minerale" anzusehen. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Silikate (Salze der Kieselsäure), aus denen mehr als 90 Vol.-% der Erdkruste bestehen.

a) primäre Minerale

Nach der oben gegebenen Definition sind dies Minerale, die entweder aus einer Schmelze oder durch Druck-Temperatureinwirkung auf ein Gestein auskristallisiert sind. Halten diese Minerale den Sedimentationsvorgängen (Verwitterung, mechanische Aufbereitung, Zerkleinerung, Transport und Ablagerung) aufgrund ihres festen Kristallgitters und der dadurch bedingten Eigenschaften, wie große Härte und geringe Spaltbarkeit, Stand, bilden sie die Komponenten eines neuen Gesteines, eines Sedimentes. Da es sich um mechanische Produkte handelt, die durch Zerbrechen entstanden sind, bezeichnet man diese Gesteine auch als „klastische" Sedimentgesteine. Ihre durchschnittliche Korngröße liegt gewöhnlich im Silt- und Sandbereich (0.002—2 mm Korndurchmesser).

Mit abnehmender Stabilität läßt sich folgende Reihe primärer Gesteinsminerale aufstellen:

Quarz und Schwerminerale (z. B. Granat, Zirkon, Turmalin, Erz)
Glimmer
Alkalifeldspäte
Plagioklase
Amphibole (Hornblenden)
Pyroxene (Ortho- und Klinopyroxene/z. B. Augite)
Olivine

b) sekundäre Minerale

Dies sind Minerale, die als Umwandlungsprodukte bei den Verwitterungsvorgängen aus den primären Mineralen entstehen oder in einem neugebildeten Gestein aus Lösungen kristallisieren. Ihre durchschnittlichen Korngrößen liegen gewöhnlich weit unter dem der primären Minerale, nämlich im Ton- bis Siltbereich (kleiner 0.063 mm Korndurchmesser).

Die wichtigsten sekundären Minerale sind:

Carbonate (Salze der Kohlensäure, wie Calcit, Dolomit, Braunspat und Siderit)

Tonminerale und Chlorite (sie bilden sich bei der chemisch-hydrolytischen Zersetzung von Feldspäten, Glimmern und anderen Silikaten). — Besonders wichtig sind: Kaolinit, Illit, Montmorillonit, Halloysit, Vermiculit und Chlorit.

Hydroxide, Oxide und Oxidhydrate von Aluminium, Eisen und Silicium.

c) andere mineralische Bestandteile des Bodens

Zu den mineralischen Bestandteilen des Bodens gehören auch die durch die Verwitterungsvorgänge gebildeten, nicht kristallinen Substanzen, Kolloide und Lösungen. Daneben spielen die durch die biogenen Prozesse oder anthropogene

Beeinflussung zugeführten anorganischen und organischen Stoffe eine große Rolle. Im Folgenden soll die Untersuchung der mineralischen Bestandteile in erster Linie auf die mineralogisch und chemisch-physikalisch gut faßbaren Minerale beschränkt werden.

Die Reaktionsfähigkeit der Minerale bestimmt weitgehend den Nährstoffhaushalt des Bodens. Denn von den Nährstoffen, die durch Düngung, Niederschläge und Grundwasser sowie aus dem Ausgangsgestein des Untergrundes in den Boden gelangen, ist nur ein relativ geringer Teil pflanzenverfügbar, das heißt, in Form von wasserlöslichen, austauschbaren Ionen oder Ionenkomplexen vorhanden. Der Rest liegt in schwerlöslicher Form vor oder ist in organischer Substanz eingebaut. Um diese schwer pflanzenverfügbare Form der Nährstoffe in eine leicht pflanzenverfügbare Form zu überführen, bedarf es der chemischen Umsetzung und der Lösung von Mineralen und der anderen im Boden vorliegenden schwer löslichen Verbindungen. Daneben dienen einige Minerale durch ihr spezielles Kristallgitter direkt dem Boden als Nährstofflieferanten. So sind zum Beispiel einige Tonminerale und Chlorite in der Lage, ihre Kristallgitter in Abhängigkeit von der jeweils anwesenden Menge an Wasser zu verändern und Ionen einzubauen oder abzugeben und somit den Pflanzen Nährstoffe zur Verfügung zu stellen.

Bei den hier nicht näher untersuchten organischen Ton-Humus-Komplexen sind ähnliche Vorgänge durch mikrobielle Umsetzung der organisch gebundenen Elemente, wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel u. a., in die entsprechenden anorganischen Ionen bekannt (sogenannte „Mineralisation" nach MÜCKENHAUSEN 1962: 364).

Da die landwirtschaftlich genutzten Böden als Mineralböden einzustufen sind, ist die Verfügbarkeit von Nährstoffen in hohem Maß von der Aktivität der einzelnen Tonminerale abhängig. Dem Humus, als zersetzte organische Bestandteile in dem obersten Bodenbereich, wird eine geringere Bedeutung beigemessen, weil die organische Substanz der Mineralböden im Durchschnitt 0.8—2% beträgt, gegenüber einem durchschnittlichen Gehalt an Tonmineralen von meist weit über 5%.

1.3 Geographische und geologische Grundlagen

Geographisch liegt die Ortschaft Eulenbis im Südteil des Nordwestpfälzer Hügellandes, etwa 15 km nordwestlich von Kaiserslautern. Der Eulenkopf bildet mit einer Höhe von 422 m die höchste Erhebung in der Umgebung von Eulenbis, einem Hügelland mit Höhen zwischen 200 m (Sulzbachtal) und 385 m (Eulenbis). Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 8° C und die Niederschlagsmenge etwa 700 mm pro Jahr.

Geologisch gesehen liegt der Raum um Eulenbis im Zentrum der sogenannten Saar-Nahe-Senke, einem im ausgehenden Erdaltertum (Paläozoikum) gebildeten, Nordost-Südwest verlaufenden, grabenähnlichen Sedimentationsbecken. Als kontinentaler Trog ist er innerhalb der ebenfalls Nordost-Südwest ausgerichteten Gebirgsketten des varistischen Faltengebirges angelegt („intermontaner Trog"). Das Becken hat sich im Oberkarbon durch Absenkungsvorgänge gebildet und sich bei gleichzeitigem weiteren Einsinken während der Sedimentation in seiner Längs- und Breitenerstreckung ständig erweitert. Zeitweise greifen die Sedimente auch über den nördlichen Rand des Beckens (Hunsrück-Südrand-Störungszone) hinweg auf die devonischen Gesteine des Hunsrücks über. Als rein kontinentales Becken nimmt es vor allem den Abtragungs-

schutt aus den umliegenden Gebirgen auf, der in breiten Schuttfächern und Deltas in den Sedimentationsraum hineingreift und sich dort mit lakustrischen und weiteren fluviatilen Sedimenten verzahnt. Die Gesamtmächtigkeit der permokarbonischen Ablagerungen beträgt etwa 8 000 bis 10 000 Meter. Während der Sedimentationsvorgänge kam es durch tiefreichende Brüche zu einer lebhaften vulkanischen Tätigkeit, die durch Effusionen (Lavadecken) und Intrusionen von andesitischen und rhyolithischen Magmen sowie der Förderung von pyroklastischem Material (Tuffen) belegt sind. Mit dem Einsetzen der vulkanischen Tätigkeit hat man mit einem sogenannten „Grenzlager" (basaltische bis intermediäre Lavadecken) Unter- und Oberrotliegendes unterschieden. Durch das Eindringen von intermediären bis sauren Eruptivgesteinsstöcken in die permokarbonischen Sedimente entstehen im zentralen Bereich der Saar-Nahe-Senke zahlreiche, domförmige Strukturen (sogenannte „Pfälzer Kuppeln"), die die Gesteine ringsum anschleppen und zahlreiche lokale Schichtverstellungen verursachen. Eine solche domförmige Struktur in der näheren Umgebung von Eulenbis ist der Königsberg bei Wolfstein, der bereits während der Sedimentation des Oberrotliegenden ein lokales Relief gebildet hat. Die erwähnten Lavadecken begegnen uns in Eulenkopf und Schwarzwald und pyroklastische Gesteine in Form von sehr feinkörnigen, teilweise verschwemmten Aschentuffen finden wir als mächtige Horizonte bereits im Liegenden der Lavadecken, innerhalb von roten, vorwiegend grobkörnigen Sandsteinen. Die heute im Raum Eulenbis zu Tage ausstreichenden Schichten fallen durch ihr einheitliches Einfallen nach Südosten auf. Dies bedeutet, daß die Gesteine nach ihrer Ablagerung, also frühestens im höheren Oberrotliegenden aus ihrer ehemals flachen Lagerung nach Südosten geneigt wurden. Die Bewegungsvorgänge, die zu diesen Verstellungen des Gesteinsverbandes geführt haben, sind in Zusammenhang mit der Anlage des Pfälzer Sattels, der Nahe- und der Vorhaardt-Mulde zwischen der Ablagerung von Oberrotliegendem und Buntsandstein zu sehen. Dabei und teilweise noch sehr viel später entstanden zahlreiche Bruchstrukturen, an denen die Gesteinsschichten gegeneinander versetzt wurden.

2. Grundlagen der Bodenentwicklung und Bodennutzung (Bodenfruchtbarkeit)

2.1 Ausgangsgestein

Die verschiedenen Gesteine mit ihren unterschiedlich stabilen Mineralen beeinflussen in wesentlichem Maße die Bodenentwicklung. Insbesondere ist das Gefüge des Bodens von dem Verfestigungsgrad, der Porosität und Permeabilität sowie von der Verwitterungsresistenz des Gesteines abhängig. Im allgemeinen sind gegenüber der physikalischen Verwitterung feinkörnige Eruptivgesteine wesentlich resistenter als grobkörnige. Hinsichtlich der chemischen Verwitterung sind besonders die kieselsäurearmen, Eisen-, Magnesium-reichen (basaltischen) Gesteine sehr anfällig. So entwickeln sich beispielsweise aus Basaltgesteinen mineralogisch stark veränderte Böden. Unter dem Einfluß der Lösungsverwitterung bilden sich quellbare Ton- und Chloritminerale und zahlreiche Minerale lagern Wassermoleküle an (Hydratation). Die Folgen sind: Aufweitung des Kristallgitters, Austausch von Ionen des Kristalls gegen Ionen der Bodenlösung und allgemeine Zersetzungs- und Lösungsvorgänge. Bei der chemischen Verwitterung spielt die sogenannte „Hydrolyse" die größte Rolle, wobei sich die Minerale durch eine chemische Reaktion mit den H- und OH-Ionen der wässrigen Phase im Verwitterungsmilieu zersetzen. Hat eine Hydrolyse bereits

stattgefunden, dann ist dadurch die Kristallstabilität so vermindert, daß die darin gebundenen Ionen wie Eisen und Mangan sich herauslösen und mit dem Sauerstoff des Bodenwassers reagieren. Durch diesen Vorgang der Oxidation werden Oxidhydrate und Oxide von Eisen und Mangan gebildet, die als feste Verbindungen in Form von Krusten („Ortstein"), Nestern oder Pigmenten im Boden vorliegen können.

2.2 Klima und Vegetation

Das Klima umfaßt die Niederschläge, die relative Feuchtigkeit und die Temperatur, deren Intensität und Höhe Verwitterung und Verlagerungsvorgänge bestimmen. Tongehalt, pH-Wert und Ausbildung eines ganz bestimmten Bodentypes sind vorwiegend auf den klimatischen Einfluß zurückzuführen.

Die Bodentypen werden allgemein nach der Farbe klassifiziert, wie Schwarz-, Braun-, Grau-, Gelb- und Roterden. Während zum Beispiel in tropischen Gegenden Roterden charakteristisch sind, dominieren in den gemäßigten Breiten die Podsolböden („Bleicherden") sowie die Braun- und Schwarzerde-Böden. Für den Transport der gelösten Mineralsubstanzen bedeutet der Übergang vom semiariden zum humiden Klimabereich ein Wechsel vom aufwärts zum abwärts fließenden Lösungstransport im Boden (Auswaschung bzw. Anreicherung von Substanzen an der Oberfläche/Lateritbildung).

Der Gehalt der Böden an organischer Substanz wird ebenso wie der organisch gebundene Stickstoffgehalt maßgeblich vom Klima beeinflußt. Unter den Bedingungen des gemäßigt-humiden Klimas erhöht sich mit dem Anstieg der Temperatur nicht nur die Produktion, sondern auch der mikrobielle Abbau von organischer Substanz. Da der Abbau jedoch stärker gefördert wird, sinkt in diesem Klimabereich mit steigender mittlerer Jahrestemperatur der Gehalt der Böden an organischen Komponenten. Im semiariden Klima wird die mikrobielle Aktivität zeitweilig durch Trockenheit gehemmt.

Die Vegetation bildet mit dem Boden ein eigenes Wirkungsgefüge (Ökosystem). Bei der Bodenentwicklung liefert vor allem die Vegetation das organische Ausgangsmaterial eines Bodens, das dann von Tieren und Mikroben in Huminstoffe umgeformt wird. Die Zusammensetzung des Humus ist sehr unterschiedlich und richtet sich nach der jeweiligen Pflanzenvergesellschaftung, und zwar in Abhängigkeit von den Klima- und Bodenverhältnissen. So bestehen zwischen der Tundren-, Wüsten- und Steppenvegetation, dem Laub-, Misch- und Nadelwald hinsichtlich der Eigenschaften ihrer pflanzlichen Abfallstoffe (sogenannte „Streu") große Unterschiede, die sich vor allem in der Bildung der verschiedenen Humusstoffe widerspiegelt. Zugleich wirkt die Vegetation als Schutzmantel über der Bodenoberfläche gegen alle Erosionsvorgänge.

Wurzeln und Mikroben scheiden organische Säuren und komplexbildende Stoffe aus, welche die Verwitterungs- und Verlagerungsvorgänge stark beeinflussen. Bodentiere und Mikroben erschweren die Verlagerungsvorgänge durch die Erzeugung von stabilen, nicht weiter abbaubaren Substanzen. Schließlich lagern wühlende Bodentiere wie Regenwürmer und Nagetiere das Bodenmaterial um.

2.3 Chemisch-physikalische Eigenschaften des Bodens

2.31 Ionenaustausch

Die Mineralnährstoffe des Bodens werden häufig durch Ionenaustausch an Minerale gebunden. Dabei findet eine Annahme (Adsorption) eines Ions gegen

eine Abgabe (Desorption) eines anderen Ions statt. Die Austauschvorgänge vollziehen sich in äquivalenten Mengen, das heißt, der Wertigkeit der Ionen entsprechend. Die Austauschfähigkeit eines Bodens wird als „Austauschkapazität" (AK) bezeichnet. Ihre Höhe wird in Milligrammäquivalent (mval) auf 100 g Boden bezogen, angegeben.

Als Austauscher-Substanzen kommen in erster Linie die Tonminerale sowie organische Substanzen in Frage. Am Beispiel der Tonminerale sollen die besonderen Eigenschaften des Ionenaustausches erläutert werden. Besonderen Einfluß auf die Bodenentwicklung hat insbesondere ihre Verwitterungsstabilität als Folge der chemisch-physikalischen Eigenschaften. Die Tonminerale sind Schichtsilikate, deren Kristallgitter schichtförmig „vernetzt" ist. Ihre Fähigkeit, dieses Gitter durch Einlagerung oder Abgabe von Ionen zu verändern, bedingt Quellfähigkeit durch Wasseraufnahme, Spaltbarkeit, Volumenzu- und Dichteabnahme sowie Adhäsionseigenschaften dieser Mineralgruppe. Die Tonminerale haben eine große spezifische Oberfläche, da wegen ihrer Gitter-Aufweitbarkeit zur äußeren noch eine innere Oberfläche hinzukommt und damit eine wesentlich größere Fläche für Sorptions- und Adhäsionsvorgänge zur Verfügung steht.

Man nennt die an die Oberfläche der Bodenteilchen gebundenen Kationen „austauschbare Kationen" (wie z. B. H-, Ca-, Mg-, K-, Na-, Al-Ionen), da sie durch eine äquivalente Menge von NH_4-Ionen ausgetauscht werden können (= Kationenaustausch).

Die Böden sind in der Lage, außer den Kationen auch Anionen aufzunehmen. Da es sich bei den Anionen ebenfalls zum Teil um Nährstoffe (z. B. Sulfat-, Phosphat-, Molybdat-, Borat-Ionen) handelt, ist auch die sogenannte „Anionenadsorption", das heißt, die Menge der austauschbaren Anionen für den Stoffhaushalt eines Bodens wichtig; wenn auch in meist geringerem Maße als der Kationenaustausch.

2.32 Bodenreaktion (pH-Wert)

Von den Faktoren, die die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens besonders stark beeinflussen, nimmt die Bodenreaktion eine bevorzugte Stellung ein. Sie wirkt sich vor allem auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe aus. Je nach dem Vorhandensein von Säuren und Basen im Boden spricht man von saurer, neutraler oder basischer (alkalischer) Bodenreaktion.

Die Acidität wird mit der Wasserstoff-Ionen-Konzentration (dem pH-Wert) der Bodenlösung angegeben (d. h. Gramm H-Ionen pro Liter). Der Wert selbst ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoff-Ionen-Konzentration.

Eine Möglichkeit der Klassifizierung der Böden ist somit auch hinsichtlich der Bodenreaktion gegeben. Man unterscheidet damit saure (pH-Wert der Bodenlösung kleiner 7), neutrale (pH-Wert um 7) und alkalische Böden (pH-Wert größer 7).

Die „Bodenversauerung", das heißt eine stark saure Bodenreaktion, beruht vorwiegend auf einer Verdrängung der austauschbaren Alkali- und Erdalkali-Ionen. Somit ist der Boden basenarm und besitzt nur geringe Mengen an Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium und die Austauschplätze der Feinsubstanz dieses Bodens werden von Wasserstoff- und Aluminium-Ionen eingenommen.

Durch den Einfluß des pH-Wertes im Boden werden die Bodenentwicklung und somit nahezu alle anderen physikalisch-chemischen Prozesse gesteuert.

Einer Veränderung des pH-Wertes kann entgegengewirkt werden durch sogenannte „Pufferstoffe", das sind chemische Stoffe mit pH-stabilisierender Wirkung. Diesen Vorgang nennt man Pufferung, der darauf beruht, daß schwache Säuren mit ihren Salzen in Reaktion treten und Protonen und Anionen zu sorbieren vermögen. Dadurch wird eine weitere Versauerung verhindert. Als Puffersubstanzen im Boden wirken Carbonate, Phosphate u. v. a.

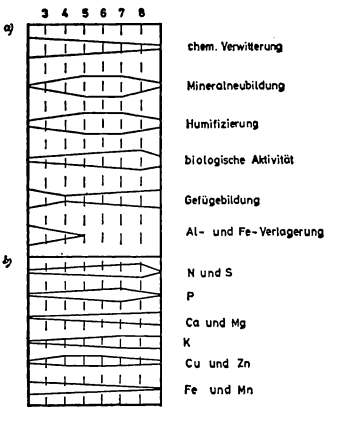


Abb. 1

Abb. 1: Schematische Darstellung
a) Beziehungen zwischen dem pH-Wert und den wichtigsten Bodenbildungsprozessen.
b) Beziehungen zwischen dem pH-Wert und der Nährstoffverfügbarkeit (nach MÜCKENHAUSEN (1974).

2.33 Nährstoffe

Von den Mineralstoffen im Boden ist der Gehalt an Mineralien (bis 3%) sehr gering, weshalb für eine ausreichende Pflanzenernährung die Zufuhr von Mineralien notwendig ist. Sie erfolgt heutzutage weitgehend in der Form von mineralischer Düngung. Handelsübliche Düngemittel enthalten Salze, die rasch in wurzel- bzw. wasserlösliche Form übergehen und dabei physikalische, chemische und biologische Reaktionen im Boden auslösen.

2.34 Bodentextur

Die Bestandteile des Bodens werden nach ihrem Korndurchmesser in bestimmte Kornfraktionen eingeteilt:

man bezeichnet Die Fraktion > 2 mm als „Bodenskelett"
die Fraktion < 2 mm als „Feinboden"

weiterhin unterscheidet man zwischen:

Sandfraktion, Korngröße 2 mm — 0.063 mm (= 63 µm)
Siltfraktion, Korngröße 0.063 — 0.002 mm (63—2 µm)
Tonfraktion, Korngröße < 0.002 mm (< 2 µm)

Der Anteil der einzelnen Kornfraktionen im Boden bildet die Grundlage zur Einteilung der Böden nach der Korngröße in die sogenannten „Bodenarten". Am übersichtlichsten lassen sich die Bodenarten in einem Dreiecksdiagramm darstellen:

3. Methodik und Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Probennahme

An vier verschiedenen Standorten in der Umgebung von Eulenbis wurden je 1—2 Bodenproben entnommen:

Probe 1: Goldgrubenhöhe, 100 m im NW von Höhepunkt 349; R 34 02 605, H 54 87 015; landwirtschaftlich genutzter Ackerboden; Ausgangsgestein: rotgefärbtes Konglomerat, bzw. konglomeratische Arkose.
Probe Nr. 1A = A-Horizont
Probe Nr. 1B = B-Horizont

Probe 2: Weg von Eulenbis zum Eulenkopf, südl. Wegböschung ca. 50 m hinter dem Ortsausgang, 60 m südlich der einzel stehenden Scheune, Wegabzweigung; R 34 01 215, H 54 86 525;
landwirtschaftlich genutzter Ackerboden; Ausgangsgestein: rötliche bis grauviolette Silt- und Feinsandsteine.
Probe Nr. 2A = A-Horizont
Probe Nr. 2B = B-Horizont

Probe 3: 300 m NE von Punkt 338, Weg von Obersulzbach zur Goldgrubenhöhe, nördl. Wegböschung; Waldboden; Ausgangsgestein: rötlicher mittel- bis grobkörniger Sandstein, kieselig gebunden. Lok.: R 34 02 310, H 54 87 420;
Probe Nr. 3A = A-Horizont
Probe Nr. 3B = B-Horizont

Probe 4: 180 m südlich vom Höhepunkt 410, Eulenkopf-Südhang; z. Z. ungenutzter Ackerboden; Ausgangsgestein: graubraune, zersetzte basaltische bis intermediäre Lava.
Probe Nr. 4A = A-Horizont
Probe Nr. 4B = B-Horizont — zu Gesamtprobe 4 vereinigt

3.2 Phasenanalyse

Mittels eines Röntgendiffractometers (PHILIPS PW 1050) wurden die einzelnen kristallinen Bestandteile der Ausgangsgesteine ermittelt und (soweit identifizierbar) mit den Mineralanteilen im darüberliegenden Boden verglichen.

Die durch die röntgenographische Phasenanalyse in den Böden identifizierbaren Minerale stimmen in den Proben 1—3 weitgehend mit den Mineralanteilen der Ausgangsgesteine überein. Durch das Vorhandensein von hohen Anteilen an amorphen (kolloidalen) und schlecht kristallinen Substanzen sind allerdings exakte quantitative Angaben unmöglich. In den Diagrammen ist dennoch gut erkennbar, daß gegenüber den Ausgangsgesteinen die Gehalte an Tonmineralen, besonders Kaolinit in den Proben 1 und 3 und Illit + Kaolinit in Probe 2 wesentlich höher sind, was auf einen weitgehenden Abbau der Feldspatkomponente deutet. In Probe 4 ist ein starker Abbau der dunklen Minerale (besonders der Pyroxene) und der Feldspäte zu bemerken, die zu einer Anreicherung von Tonmineralen (vorwiegend Montmorillonit), Chlorit und Erz geführt haben. Nimmt man den Anteil der stabilen Minerale (Quarz, Orthoklas

Tab. 1: Die mineralogische Zusammensetzung der Ausgangsgesteine an den vier Bodenentnahmestellen. (Semiquantitative Abschätzung, Angaben in Vol.-%)

Minerale	Pr. 1 = Konglomerat	Pr. 2 = Siltstein	Pr. 3 = Sandstein	Pr. 4 = Phäno-Basalt
Quarz	55	60	65	< 5
Orthoklas	15	5	8	< 5
Plagioklas	5	5	< 5	40
Glimmer	10	15	10	< 5
Kaolinit	8	5	10	< 5
Erz	< 5	< 5	< 5	< 5
Pyroxene	—	—	—	35
Chlorit	—	5	—	10
Montmorillonit	—	< 5	—	5
Carbonate	—	—	—	< 5

und Glimmer), so zeichnen sich sowohl die Ausgangsgesteine als auch die Böden im Bereich der Probenpunkte 1—3 durch ihre Einheitlichkeit aus: Probe 1 — ca. 80 Vol.-%, Probe 2 — ca. 80 Vol.-% und Probe 3 — ca. 83 Vol.-% (auf das Ausgangsgestein bezogen). Im Gegensatz dazu besitzt die Probe 4 mit nur ca. 15 Vol.-% stabilen Mineralanteilen einen extrem hohen Anteil an gut abbaubaren mineralischen Rohstoffen, die dem Boden zugute kommen.

3.3 Kornanalyse

Jeweils 100 g der Bodenproben 1B, 2B, 3B und 4 wurden einer Korngrößenanalyse unterzogen. Die Proben 1A und 2A konnten wegen zu hoher Humusanteile nicht berücksichtigt werden. Die Korngrößenfraktionen zwischen 2 mm und 0.063 mm (63 µm) Korndurchmesser wurden mittels Siebmethode bestimmt. Die Ermittlung der Korngrößenfraktionen mit einem Durchmesser kleiner 63 µm erfolgte über die Schlämmanalyse im Atterberg-Zylinder, wobei die Korngrößentrennung auf der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeit von Teilchen mit verschiedenem Durchmesser und Gewicht beruht. In Tabelle 2 ist der prozentuale Anteil der jeweiligen Korngrößenfraktion in den Bodenproben angegeben.

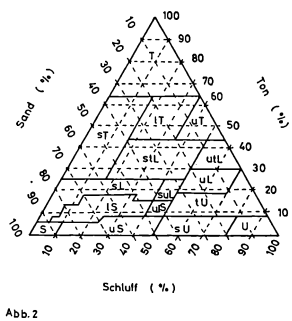


Abb. 2: Dreiecksdiagramm der Körnungsklassen (S = Sand, s = sandig, U = Schluff, u = schluffig, T = Ton, t = tonig, L = Lehm, l = lehmig) (nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1976)

Tab. 2: Der prozentuale Anteil der verschiedenen Korngrößenbereiche der Bodenproben.

Fraktion	Korndurchmesser	1B	2B	3B	4
Sand	> 2 mm	12.40	0.26	21.80	16.40
	2 mm—0.6 mm	23.50	18.00	11.20	17.20
	0.6—0.2 mm	32.50	38.60	19.88	29.00
	0.2—0.063 mm	21.38	32.70	20.90	27.00
Ton	< 0.002 mm	9.36	9.86	24.82	9.40

3.4 pH-Wert-Bestimmung

Die pH-Wert-Messungen wurden mittels einer Glaselektrode (Potentialmessung) unter folgenden Bedingungen durchgeführt: 2 g der Bodenprobe wurden in 5 ml 1-n-KCl-Lösung (Verdünnung 1:2.5) umgerührt und nach einer halben Stunde der pH-Wert mit der Glaselektrode gemessen.

Tab. 3: pH-Werte der Bodenproben

Probe 1A	4.67	Probe 3A	3.75
Probe 1B	4.99	Probe 3B	3.85
Probe 2B	4.75	Probe 4	4.80

3.5 Austauschkapazität (AK)-Bestimmung

Zur Bestimmung der Austauschkapazität der Bodenproben werden die Proben in einer Schüttelmaschine einer Lösung ausgesetzt. Dabei wird ein Austausch von Ionen der Bodenlösung mit einer Säure bzw. einer Base im Gleichgewichtsverfahren angestrebt. Die Menge der ausgetauschten Ionen läßt sich leicht titrimetrisch bestimmen. Man geht dabei von vorgegebenen Lösungen bekannter Konzentration aus.

Die Austauschkapazität eines Bodens kann folgendermaßen ausgedrückt bzw. errechnet werden:

T-Wert: Umtausch- oder Totalkapazität genannt, umfaßt die Summe aller austauschbaren Kationen, einschließlich der Wasserstoff-Ionen;

S-Wert: Summen aller austauschbaren Alkali- und Erdalkali-Ionen (auch „Kationen-Austauschkapazität" genannt);

(T-S)-Wert: Gesamtheit aller Wasserstoff- und Aluminium-Ionen („Anionen-Austausch-Kapazität");

V-Wert: Verhältnis von Alkali- und Erdalkali-Ionen zu den Gesamtionen;

Dabei gelten nun folgende Beziehungen (Angaben jeweils in mval/100 g Boden)

1) $V = \frac{S \cdot 100}{T}$ 2) $T = S + (T\text{-}S)$

folgende Lösungen wurden benutzt:

Bestimmung v. (T-S):
Calciumacetatlösung (84 g/l)
0.1 n—NaOH
Phenolphthalein als Indikator

(S): 0.1 n—Hcl
0.1 n—NaOH
Phenolphthalein als Indikator

Tab. 4: Bestimmung der Austauschkapazität in den Bodenproben (Angaben in mval/100 g Boden)

Probe	T-Wert	(T-S)-Wert	V-Wert	S-Wert
1B	7.0	3.6	48.6%	1.7
2	9.6	3.4	64.6%	3.1
3B	13.6	13.2	2.9%	0.2
4	25.6	8.4	67.2%	8.6

3.6 Carbonat- und Kohlenstoffbestimmung

a) Carbonatbestimmung:

Die Bestimmungen des Carbonatanteiles in den Bodenproben wurden mit einer Manometerbombe durchgeführt. Dabei wurden die Proben mit konzentrierter Salzsäure versetzt, die aus den Carbonatmineralen CO_2 freisetzt. Die Menge des abgegebenen Gases und somit der Druck innerhalb der Bombe sind der Menge an Carbonatgehalt direkt proportional.

Ergebnis der Messungen:

bei 2 g Einwaage entsprach der gemessene Druck auch noch nach etwa einer Stunde dem normalen atmosphärischen Druck, d. h. der Carbonatgehalt der Bodenproben lag bei sämtlichen Proben unter der Nachweisgrenze von etwa 0.5 Gew.-%.

b) Kohlenstoffbestimmung:

Bei diesen Untersuchungen wurde der Gesamtkohlenstoffanteil ermittelt; deshalb muß zur Unterscheidung des organisch gebundenen Kohlenstoffes von dem in Carbonaten gebundenen Kohlenstoff vorher der Carbonatanteil bestimmt werden. Da dieser in allen Proben unter der Nachweisgrenze lag, entspricht der nun gemessene Kohlenstoffanteil dem organisch gebundenen Kohlenstoff („organisch C").

Mittels eines Mikro-Verbrennungsofens wurde durch organische Elementaranalyse die quantitative Bestimmung von Kohlenstoff durchgeführt. Das Verfahren beruht auf einer quantitativen Zerstörung der Substanz durch Verbrennen im Sauerstoffstrom, wobei Kohlenstoff vollkommen in Kohlendioxid überführt wird.

Ergebnis der Messungen:

Probe 1B enthielt 1.23% CO_2 entspricht 0.33% organisch C
Probe 2 enthielt 2.04% CO_2 entspricht 0.56% organisch C
Probe 3B enthielt 8.78% CO_2 entspricht 2.40% organisch C
Probe 4 enthielt 6.16% CO_2 entspricht 1.68% organisch C

Aus diesen „organisch C"-Werten kann nach NIESCHLAG, (1969: 16) leicht der Humusgehalt des Bodens berechnet werden:

organisch C · 1.7 = Humusanteil

Demnach ergeben sich für die Bodenproben folgende Humuswerte:

Probe 1B: 0.567% Humus
Probe 2: 0.963% Humus
Probe 3B: 4.128% Humus
Probe 4: 2.890% Humus

3.7 Spurenelementanalyse

Die Analysen der Spurenelementgehalte wurden mittels einer Röntgenfluoreszenzanlage (PHILIPS, PW 1540) durchgeführt.

Ergebnisse (semiquantitative Abschätzung):

Element	Proben 1—3 (zusammengefaßt, da diese Proben annähernd gleiche Spurenelementgehalte aufweisen):	Probe 4:
Zink (Zn)	60 ppm (0.006%)	50 ppm
Kupfer (Cu)	30 ppm	150 ppm (0.015%)
Blei (Pb)	10 ppm	15 ppm
Nickel (Ni)	20 ppm	80 ppm
Kobalt (Co)	5 ppm (0.0005%)	5 ppm

4. Diskussion

4.1 Bodensystematik und Ausgangsgestein

Bei der Einteilung der Böden wird nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1976) der gesamte Profilaufbau des Bodens, in welchem sich die Auswirkungen aller Faktoren der Bodenentwicklung widerspiegeln, in den Mittelpunkt gestellt. Die wichtigste Einheit der Systematik ist der Bodentyp, der unter Zugrundelegung der Profildifferenzierung alle Böden mit ähnlichem Entwicklungsstand und ähnlicher Dynamik umfaßt.

Die Böden um Eulenbis gehören zur Klasse der Braunerden, wobei ihre Entwicklung zu Podsol-Braunerden tendiert, ausgelöst durch eine Versauerung, wie im Kapitel 2.2 dargelegt wurde.

Kennzeichen des Bodentypes:

Braunfärbung infolge Verwitterung primärer Silikate und Tonminerale (Illit); schwach bis stark saure Boden-Reaktion; gute Durchlüftung und Durchfeuchtung; stark variierende biologische Aktivität;

Ursachen der Podsolierung:

Durch feuchtes Klima bedingte saure Bodenreaktionen haben zur Folge, daß vor allem Eisen- und Manganverbindungen wanderungsfähig werden und somit in tiefere Horizonte verlagert werden — zugleich ist damit ein allgemeiner Verlust an Nährstoffen verbunden.

Auf Grund dieser Kennzeichnung kann man am ehesten den Boden über dem dunklen, basaltischen Magmatit (Probe 4) als echte Braunerde bezeichnen, während an den übrigen Bodenstandorten eine Podsol-Bildung in den Braunerden erkennbar ist. Dies wird auch in den folgenden Kapiteln weiter verdeutlicht.

4.2 Mineralogische Zusammensetzung

Wie aus Tab. 1, S. 18 ersichtlich ist, besitzen die Böden an den Bodenstandorten 1—3 einen sehr hohen Anteil an stabilen (unverwitterten) Mineralen. Dementsprechend niedriger ist ihr Gehalt an weniger stabilen Mineralen. Die Gesteinsfragmente dieser Böden sind also weitgehend unzersetzt und relativ verwitterungsresistent. Die verbleibenden Minerale (ca. 20%), die im Boden umgesetzt werden, wie Tonminerale, Erz usw. können nur in geringem Maße günstige Wirkungen in diesen Böden entfalten. Auch die günstigen Eigenschaf-

ten der Tonminerale fallen hier nicht wesentlich ins Gewicht, da der hauptsächlich vorkommende Kaolinit zu den nicht quellbaren Tonmineralen gehört, nur eine relativ geringe Austauschkapazität (ca 5 mval) gegenüber dem Montmorillonit (ca. 100 mval) besitzt. Der geringe Anteil von sekundären Mineralen in diesen Böden bedingt die Armut an austauschfähiger Substanz im Boden. Zugeführte Düngemittel können nur von einem kleinen Anteil dieser Substanzen aufgenommen werden. Bei höherer Düngemittelzugabe wird außer einem Teil, der gleich gelöst und in pflanzenverfügbarer Form vorliegt oder übergeht, der Rest relativ rasch in tiefere Horizonte verlagert und wird somit unwirksam. Natürlich sind diese Prozesse auch sehr von den Witterungseinflüssen abhängig, die im Folgenden noch behandelt werden sollen.

Der Bodenstandort 4 nimmt mit einem sehr geringen Anteil an stabilen Mineralen gegenüber den anderen Bodenstandorten eine weitaus günstigere Position ein. Neben einem erheblichen Anteil an zersetzbaren Mineralen üben auch die im Boden neu gebildeten Minerale, wie z. B. der hohe Montmorillonitanteil durch ihre Austauschfähigkeit günstige Eigenschaften aus.

4.3 Klima und Verwitterungsfaktoren

Das Gebiet um Eulenbis liegt im Einflußbereich des semihumiden Klimas. Die durchschnittliche Jahrestemperatur von 8—9° C in unserem Raum wird mit 8° C als Untergrenze einer bodenklimatisch günstigen Stufe erreicht. Die Niederschläge liegen mit etwa 680 mm pro Jahr etwas über dem Durchschnitt dieser Klimazone (500—600 mm). Bei starken Temperaturschwankungen reagiert der Boden mit Prozessen der Tonverlagerung und Basenauswaschung, die zu einer pH-Wert-Senkung führen. Hier also liegt bereits eine Gefahr zur Podsolierung der Böden vor.

Bei der Bodenschätzung wird der Boden nach Kriterien der Beschaffenheit und der natürlichen Ertragsbedingungen eingestuft. Dabei wird das Klima, das den Böden bei ihrer Entstehung einen ganz bestimmten Charakter aufprägt, als Faktor der „bewegenden Kräfte" (Eis, Wasser, Wind) und der unmittelbaren Verwitterung einbezogen. Man geht davon aus, daß dadurch die Bodenbeschaffenheit und Bodenstruktur stark beeinflußt werden.

In seiner Entstehungsart gehören die Böden im Raum Eulenbis nach dem amtlichen Ackerschätzungsrahmen der zuständigen staatl. Stellen (hier Finanzamt Kaiserslautern) zu den Verwitterungsböden, die noch mehr oder weniger dem Muttergestein auflagern, aus dem sie durch unmittelbare Verwitterung an Ort und Stelle entstehen. Es handelt sich in der Hauptsache um sogenannte Mittelgebirgsböden. Erwähnt sei hier, daß Verwitterungsböden nur in lehmigen und sandig lehmigen Ackerböden einen günstigen Zustand, d. h. keine Verarmung an Nährstoffen aufweisen. Aus der Kornanalyse (S. 18 f.) ergibt sich, daß die Böden an den Standorten 1, 2 und 4 als lehmige Sandböden und bei Standort 3 als sandiger Lehmboden einzustufen sind. Damit erfüllen die Böden noch die Bedingungen, einen Teil der Nährstoffe in den tonigen Partikeln zurückhalten zu können. Standort 3 scheint dabei am besten abzuschneiden, was auf eine günstigere Entwicklung durch dauernde Pflanzenbestände, die Auswaschung und Bleichung verhindern, zurückzuführen sein dürfte (s. Kap. 3.1). Eine Verbesserung der Böden an den anderen Bodenstandorten wird nur möglich sein, wenn sehr auf die Art der Nutzung dieser Böden geachtet wird.

4.4 Bodenreaktion

Tab. 5: Einstufung der Böden nach dem pH

Reaktionsbezeichnung	pH	Reaktionsbezeichnung	pH
neutral	7.0		
schwach sauer	6.9—6.0	schwach alkalisch	7.1— 8.0
mäßig sauer	5.9—5.0	mäßig alkalisch	8.1— 9.0
stark sauer	4.9—4.0	stark alkalisch	9.1—10.0
sehr stark sauer	3.9—3.0	sehr stark alkalisch	10.0—11
extrem sauer	<3.0	extrem alkalisch	>11.0

Nach Tab. 5 gilt für die untersuchten Bodenstandorte folgende Einteilung entsprechend ihrer Bodenreaktion:

stark saure Bodenreaktion am Standort 1, 2 und 4
sehr stark saure Bodenreaktion am Standort 3

Die Böden um Eulenbis unterliegen also mehr oder weniger einer sauren Bodenreaktion, deren allgemeine Merkmale im Abschnitt 2.32 bereits besprochen wurden. Auf die Bodenreaktion wurde auch im Zusammenhang mit den Ionenaustauschvorgängen im Boden (2.31) eingegangen. Bei den hier herrschenden, sehr niedrigen pH-Werten in den Böden herrschen vor allem H- und Al-Ionen vor, die sich an pH-abhängige Austauscher anlagern, wodurch Nährstoffe und andere Ionen freigesetzt werden und der Auswaschung unterliegen. Es kommt nur dann zum Kationenaustausch, wenn der Boden über genügend Austauscher bzw. Pufferstoffe verfügt, um Ionen zu sorbieren und damit einen Anionenaustausch (H- und Al-Ionenaufnahme) und der damit verbundenen pH-Wert-Senkung entgegen zu wirken. Ein Fehlen dieser Substanzen führt zur Auswaschung der freigesetzten Nährstoffe und Kationen, wie dies bei den Bodenstandorten 1 und 3 klar zu erkennen ist. Bei diesen hat der A-Horizont jeweils einen niedrigeren pH-Wert als der B-Horizont (4.67 zu 4.99 und 3.75 zu 3.85). Der Boden ist in den obersten Bereichen saurer, besonders auch durch die Anwesenheit organischer Säuren, und der Anteil von Kationen in diesem Reaktionsbereich ist sehr gering (siehe Tab. 4 u. Abb. 1). So kann z. B. ein Mangel an Pufferstoffen den pH-Wert weiter senken, wenn das Kohlendioxid der Bodenluft nicht von Pufferstoffen neutralisiert wird oder durch Aufnahme in Carbonat ein pufferndes System gebildet werden kann. Hier soll zugleich der bedeutende Einfluß des Carbonatgehaltes im Boden angesprochen werden; vor allem seine Rolle als Pufferstoff, um den pH-Wert anzuheben. Da aber in den untersuchten Böden keine nennenswerten Carbonatgehalte vorhanden sind, bleibt die ungünstige Bodenreaktion weitgehend bestehen. Die Abgabe von Nährstoffen in durchsickerndes Wasser wird also nicht unterbunden. Der Gehalt an Kationen in den obersten Bodenhorizonten verringert sich ständig. Der Boden unterliegt dauernden Reaktionsveränderungen durch das Fehlen von puffernden Substanzen. Einem solchen Boden sollten deshalb vor allem physiologisch alkalisch wirkende Düngemittel verabreicht werden, wie z. B. sauer wirkende Düngemittel auf die Dauer die ungünstigen Bodenverhältnisse verstärken. Nur mit den speziellen, alkalisch wirkenden Düngemitteln kann der Bodenversauerung und Podsolierung wirksam entgegen getreten werden. Betrachtet man die Auswirkungen der einzelnen Düngemittel auf den Boden, so erkennt man die besondere Funktion des Kalkes, nämlich zur Neutralisation der

Säuren und der Versorgung des Bodens mit Kalk-Nährstoff, was zu einem günstigen Reaktionszustand führt. Infolge der Pufferwirkung werden intensive Verlagerungsvorgänge gebremst und Nährstoffe zurückgehalten, die dem Boden dann über längere Zeit hinweg durch allmähliche Abgabe zur Verfügung stehen. Der Einfluß einer stark bis sehr stark sauren Bodenreaktion auf bodenbildende Prozesse soll anhand von Abb. 1 im Folgenden näher erläutert werden.

Wichtige Prozesse, die die Bodenstruktur beeinflussen, wie Mineralneubildung, Humifizierung, biologische Aktivität und Gefügebildung nehmen mit zunehmender Versauerung des Bodens ab, dagegen nimmt die chemische Verwitterung an Wirksamkeit zu. Sie wirkt wesentlich stärker bei niedrigen pH-Werten, weil in saurem Milieu die Silikatminerale der hydrolytischen Zersetzung unterliegen. Dadurch werden überwiegend amorphe Aluminiumsilikate und wenige, unbeständige Tonminerale neugebildet. Die Mineralneubildung nimmt im allgemeinen unter pH-Werten 5 stark ab, da in saurem Bereich viele Minerale zerstört werden, zugleich aber durch die rasche Abfuhr der Ionen kaum reaktionsfähige Aufbaustoffe vorhanden sind. Die Humifizierung wird ebenfalls bei pH-Werten unter 5 geringer, da unter saurem Einfluß der mikrobielle Abbau gehemmt ist. Es findet lediglich eine schwache Humifizierung statt — wie man an den Humusgehalten der untersuchten Böden gut erkennen kann. Danach

Tab. 6: Klassifizierung des Humusgehaltes

Bezeichnung	Gehalt an organischer Substanz (%)
humusarm	1
humushaltig	1 — 2
humos	2 — 4
stark humos	4 — 8
sehr stark humos	8 — 15

sind die Bodenstandorte 1 und 2 als humusarme Böden mit einem Gehalt an organischer Substanz von weniger als 1% einzustufen. Die Böden an den Standorten 3 und 4 sind mit einem Gehalt an organischer Substanz zwischen 2 und 4% als „humos" zu bezeichnen. Außer der sauren Bodenreaktion kann auch eine ungeeignete Bepflanzung der Böden zu einer zu geringen Humusbildung führen. Denn bei sandigen Böden — wie sie an den Bodenstandorten 1—3 vorliegen, wo der Tongehalt nicht sehr hoch ist und keine dauerhaften, nicht wasserlösliche Ton-Humus-Komplexe gebildet werden können, wirkt es sich ungünstig aus, wenn dem bewirtschafteten Boden viel organische Substanz entzogen wird. Günstig dagegen wirken sich Ernterückstände, Pflanzen mit großer Wurzelverzweigung, Strohdüngung (in Kombination mit Stickstoff-Düngung) und Gründüngung aus, um die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen zu raschen mikrobiellen Abbau zu erhöhen. Auch ein Anbau von Zwischenfrüchten (eiweißreiche Pflanzen wie Leguminosen) würden sich hier positiv auswirken. Ferner hat man durch Unterpflügen von Luzernenpflanzen den Ertrag des anschließend angebauten Getreides erheblich steigern können (FRANKF. ALLGEM. ZEITUNG) — und damit ein natürliches Düngemittel entwickelt, indem man die mit den Luzernen symbiotisch lebenden Wurzelbakterien, die Luftstickstoff fixieren können, zugleich mit den Nährstoffen aus den Luzernen dem Boden zuführt. Daneben

kann man als Wirkstoff Myricylalkohol aus der Luzerne isolieren und dem Saatgut beifügen. Durch diese wachstumsfördernde Wirkung wird der Wurzelraum der Pflanze vergrößert und der Boden mit organischen Substanzen und Humusstoffen angereichert. Eine daraufhin verstärkt einsetzende biologische Aktivität fördert in diesem Fall die Humifizierung und damit auch alle anderen bodenbildenden und -erhaltenden Prozesse.

pH-Werte unter 5 erweisen sich als ungünstig für den Anbau der meisten Kulturpflanzen (Ausnahme: Lupine). Lediglich Roggen, Hafer, Kartoffeln und Weizen können auf solchen Böden mit niederen Erträgen angebaut werden. Für eine effektive landwirtschaftliche Nutzung erscheint ein pH-Wert des Bodens um 6 weitaus günstiger.

Bzgl. der Dynamik der ermittelten Spurenelemente (siehe 3.7) bei einem niedrigen pH-Wert wie er in den Bodenproben vorliegt, kann man aus Abb. 1b ersehen, daß Kupfer, Zink, Eisen und Mangan erst bei niedrigem pH-Wert in höheren Anteilen vorliegen. Dabei liegen Eisen und Mangan jeweils als mobile Fe^{2+}-Ion bzw. Mn^{2+}-Ion vor und sind damit gut pflanzenverfügbar. Zink, Kupfer und Kobalt finden sich als Gitterbausteine in primären Mineralen bzw. sekundären Mineralen und im sauren Bereich an Fe- und Mn-Oxiden sorbiert. Die Analysenwerte geben für Sandboden relativ hohe Spurenelementgehalte an, die zudem im sauren Bereich zum größten Teil in wasserlöslicher und austauschbarer Form vorliegen. Der Boden kann somit die Pflanze ausreichend mit Mikronährstoffen versorgen.

4.5 Ionenaustausch

Die Gesamtaustauschkapazität (als T-Wert angegeben) ist bei den untersuchten Böden mit 7 bzw. ca. 10 mval/100 g Boden bei den Proben 1 und 2 als sehr niedrig anzusehen. Probe 3 mit etwa 14 und Probe 4 mit nahezu 26 mval/100 g Boden liegen zwar etwas höher mit ihren Werten, berücksichtigt man jedoch den Anteil des (T- S)-Wertes am T-Wert, so erlaubt deren Höhe eine bessere Aussage über die Qualität der Austauschkapazität. Bei Probe 3 beispielsweise wird die höhere Austauschkapazität fast ausschließlich von dem (T-S)-Wert bestimmt, das heißt, es liegen vorwiegend Al- und H-Ionen vor, die zu einem niedrigen pH-Wert des Bodens führen. Der V-Wert, bzw. die Basensättigung, bilden den günstigsten Anteil an der Austauschkapazität für den Boden. Dieser liegt bei Probe 4 mit 67.2% am höchsten und nimmt über Probe 2 mit 65%, Probe 1 mit nahezu 50% bis auf 3% bei Probe 3 ab.

Je höher die Basensättigung ist, desto mehr austauschbare Alkali- und Erdalkali-Ionen (gegenüber einem entsprechend geringen Anteil von Al- und H-Ionen) stehen dem Boden zur Verfügung und ist damit um so sorptionsfähiger. Der Gehalt an austauschfähigen Substanzen in den untersuchten Böden ist, wie oben beschrieben, relativ gering.

Kaolinit ist als einziges Tonmineral in sauren Bereichen stabil. Ihm ist jedoch wegen der geringen Austauschkapazität von 6 mval/100 g gegenüber dem Montmorillonit mit 100 mval/100 g nur eine geringe Bedeutung beizumessen.

In den Proben der untersuchten Bodenstandorte ergeben sich folgende Beziehungen: bei sehr niedrigen pH-Werten, wie bei Probe 2 (pH 4) ist der (T-S)-Wert sehr hoch (13.2 mval) — bei niedrigen S-Werten, wie bei Probe 3 (S = 0.2 mval) herrschen höhere pH-Werte.

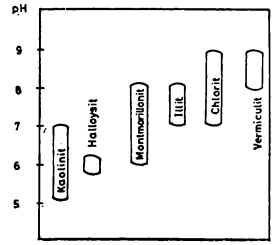


Abb. 3: Die Abhängigkeit der Bildung silikatischer Tonminerale vom pH-Wert.

Je höher das Gefälle zwischen beiden Werten ist, desto niedriger muß der pH-Wert sein. Zwischen S-Wert und V-Wert besteht folgende Beziehung: die Basensättigung steigt mit der Verfügbarkeit an Alkali- und Erdalkali-Ionen. Bei niedriger Austauschkapazität, wobei besonders die Basensättigung zu berücksichtigen ist, besitzt der Boden nur eine geringe Düngebelastbarkeit. Deshalb ist für viele Düngemittel neben einem optimalen pH-Wert auch eine hohe Austauschkapazität für eine gute Wirksamkeit im Boden Voraussetzung. Falsches Düngen, d. h. nicht auf den Boden abgestimmte Bodenreaktion führt zu physiologischen Ungleichgewichten und zur Schwächung des Pflanzenwuchses, der gegenüber tierischen und pflanzlichen Schädlingen dann kaum Widerstand bietet. Es kann sogar, wie es z. B. von der Stickstoffdüngung bekannt ist, eine negative Korrelation zwischen steigender Düngemittelzugabe und dem Getreideertrag kommen (SPIELHAUS, 1969).

4.6 Bodentextur

Nach den Ergebnissen der Kornanalysen handelt es sich bei den Böden an den untersuchten Bodenstandorten um lehmigen Sandboden (Standorte 1, 2 und 4) und um einen sandigen Lehmboden (bei Standort 3). (Siehe Abb. 2, Abschnitt 3.3)

Bei einem lehmigen Sandboden überwiegen die Eigenschaften der Sandfraktion, also besonders die gute Wasserdurchlässigkeit. Wegen ihres geringen Gehaltes an Nährstoffen und hohen Verlusten an Tonsubstanzen im B-Horizont durch Auswaschung, bedürfen sie im Vergleich zu anderen Böden bei vergleichbaren Erträgen einer stärkeren Düngung. Hierbei ist jedoch die vorhandene Austauschkapazität zu berücksichtigen. Bei einem sandigen Lehmboden überwiegen die Eigenschaften der Silt- und Tonfraktion, die sich gegenüber sandigen Böden durch geringere Wasserdurchlässigkeit, ein stärkeres Rückhaltevermögen für Nährstoffe und höhere Austauschkapazität auszeichnen. Beim Vorhandensein eines guten Bodengefüges kann ein solcher Boden günstige Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Nutzung bieten.

Tab. 7: Anzustrebende pH-Werte

Körnung	S, U	lS, tU	lS, tU	s-uL, tU	tL, T
% < 2 µm	0—6	6—12	12—17	17—25	25
pH	5.3—5.7	5.8—6.2	6.3—6.6	6.7—6.9	7.0

Um aber entsprechende chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens zu erreichen, muß neben einem guten Gefüge auch eine günstige Bodenreaktion mit Berücksichtigung der Körnung und dem Gehalt an organischer Substanz hergestellt werden. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1978) werden „zur besseren Charakterisierung der Nährstoffversorgung der Böden in der Regel nur eine einzige Korngrößenfraktion herangezogen, meist die der Tonfraktion (< 2 μ m)". Tabelle 7 gibt hierzu Richtlinien an für einen optimalen pH im Ackerboden in Abhängigkeit von den annähernd entsprechenden Körnungsklassen (siehe Tab. 2 u. Abb. 2) und dem Gehalt an organischer Substanz (3.6).

Dabei gilt als Grundsatz, daß mit Rücksicht auf die Gefügestabilität und Gefügeerhaltung der optimale pH-Wert mit steigendem Tongehalt zunimmt. Denn auf dem Sandboden handelt es sich um Aggregate aus Ton und Schluff, die durch $CaCo_3$ oder Fe-Oxide stabilisiert werden. Bei allen Bodenproben sollte demnach ein pH-Wert um 6 erreicht werden. Eine entsprechende Ca-Sättigung würde dann die pflanzenschädigende Al-Sättigung verdrängen, den pH-Wert anheben und infolge einer erhöhten Aggregatstabilität einer Tonverlagerung entgegenwirken.

Zusammengefaßtes Ergebnis der Untersuchungen:

1. Die Bodenreaktion an den verschiedenen Bodenstandorten im Raum Eulenbis ist stark sauer und bietet damit wenig günstige Grundlagen für eine landwirtschaftliche Nutzung. Die intensive Versauerung führt zu einer schnellen Zersetzung der Minerale und zu einer raschen Abfuhr von Nährstoffen und Spurenelementen. Diese Prozesse werden durch eine gute Durchlässigkeit (hoher Sand-, geringer Ton- und Humusgehalt) noch gefördert.
2. Schlechte Pufferung wegen des Fehlens von Carbonat-Substanzen oder anderen Stoffen mit die Bodenreaktion stabilisierender Wirkung führen zu ständigen Reaktionsveränderungen.
3. Bedingt durch die saure Bodenreaktion liegt ein zu geringer Gehalt an austauschbaren Alkali- und Erdalkali-Ionen (K, Na, Ca, Mg, Sr) vor.
4. Der niedrige Anteil an Ton, der mäßige Humusgehalt und der ebenfalls zu geringe Anteil an Austauschern bedingen eine ungünstige Bodenstruktur.
5. Wegen der geringen Austauschkapazität ist nur eine mäßige Düngemittelzugabe möglich.

5. Möglichkeiten der Bodenverbesserung der untersuchten Böden

Die untersuchten Böden in der Umgebung von Eulenbis liegen auf Grund aller genannten Ergebnisse in einem landwirtschaftlich ungünstigen Nutzungsbereich. Dabei spielt die Bodenversauerung die ausschlaggebende Rolle. Ein vorrangiges Ziel der Bodenbearbeitung sollte deshalb sein, den Boden in einen günstigeren Reaktionszustand, etwa im pH-Wertbereich von 6.0 bis 6.5 zu bringen. Um den pH-Wert dann konstant zu halten, muß zunächst der hohe Bedarf an Pufferstoffen in diesen Böden herabgesetzt werden, um die im Boden vorliegenden oder durch Düngung zugeführten Mineralien und Nährstoffe zu binden und in austauschbarer Form zu halten. Um einen gut gepufferten Boden zu erreichen, muß der Anteil an sorptionsfähigen, widerstandsfähigen Komplexen im Boden erhöht werden. Das bedeutet Förderung der Bildung von sekundären Mineralen (Carbonate, Tonminerale und Oxide) und Verbesserung des Basenhaushaltes, in dem insbesondere eine günstigere Bodenstruktur (Auflockerung,

Krümelstruktur) vorliegen muß. Dazu braucht der Boden koagulierend wirkende Elektolyte (Kationen und Anionen), Phosphate und eine optimale Kalkzugabe. Genau berechnete Kalkmengen können eine pH-Veränderung bis zur erwünschten Beseitigung der austauschbaren Al- und H-Ionen bewirken. Nach MÜCKENHAUSEN (1975: S. 248) läßt sich die erforderliche Menge an Kalk folgendermaßen errechnen:

$$\text{Kalkzugabe in dz pro ha als CaO} = (80 - V \cdot \frac{\text{S-Wert}}{100} \cdot 4 \text{ dm Horizontmächtigkeit}$$

Für die einzelnen Bodenstandorte im Raum Eulenbis ergeben sich daraus folgende Kalkmengen (als CaO): Probe 1: 26.4 dz/ha, Probe 2: 17.8 dz/ha, Probe 3: 125.8 dz/ha und Probe 4: 39.4 dz/ha.

Damit die Bodenstruktur nicht allzusehr angegriffen wird, d. h. die Elektrolyte vor der Auswaschung geschützt werden, muß der Boden möglichst ganzjährig bepflanzt werden. Zwischen dem Anbau von Kulturpflanzen, die den Boden an Nährstoffen verarmen, müßten Zwischenfrüchte, wie Stoppelrüben, Mais, Klee, Kleegras und Ackerfutterpflanzen angebaut werden. Gleichzeitig muß der Basenhaushalt der Böden bei diesen Maßnahmen ständig kontrolliert und insbesondere jede mineralische Düngemittelzugabe darauf abgestimmt werden.

Daneben ist auch eine organische Düngung des Bodens zu empfehlen. Allerdings muß dabei berücksichtigt werden, daß die biologische Aktivität, wie Humifizierung, bei saurer Bodenreaktion gehemmt wird und die Humus- bzw. Kompostzuführung vorher im Dungstapel oder Kompostierungsverfahren eine gewisse Abbauresistenz erworben haben müssen. Die Düngung mit organischer Substanz ist besonders stickstoffreich, was positive Wirkungen auf die Bodenstruktur und somit auf den Nährstoffhaushalt hat. Eine verbesserte Bodenstruktur erweitert den Wurzelbereich der Pflanzen und steigert die Nährstoffverfügbarkeit und sorgt für eine natürliche Zufuhr von organischer Substanz durch die im Boden verbleibenden und biologisch abgebauten Wurzeln. Eine organische Düngung wirkt primär bodenverbessernd, sekundär jedoch, da eine günstige Bodenstruktur die Voraussetzung für eine Ertragssteigerung ist, auch auf den Nährstoffgehalt und letztlich auch auf den Ertrag des Bodens.

Literaturverzeichnis

MÜCKENHAUSEN, E. (1974): Bodenkunde. — DLG-Verlag, Frankfurt a. M. (DLG-Verlag)
SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. — Stuttgart (Enke).

(Bei der Schriftleitung eingegangen am 18. 4. 1978)

Anschriften der Verfasser:
Freia Jung, Brunnenweg 4, D-6751 Eulenbis
Dr. Gerhard Dreyer †, Institut f. Geowissenschaften (Geologie) d. Johannes Gutenberg-Universität, Saarstr. 21, D-6500 Mainz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: 67

Autor(en)/Author(s): Jung Freia, Dreyer Gerhard

Artikel/Article: Die Bolle der mineralischen Bestandteile des Bodens und deren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung, betrachtet am Beispiel der Umgebung von Eulenbis/Pfalz 9-28