

BULLETIN

2

Index

H. STICHER: Goethe und die Bodenkunde	3
J.A. NEYROUD: Dynamique de l'azote minéral du sol dans un essai de fertilisation organique et minéral	15
S.K. GUPTA und H. HAENI: Form und Wirksamkeit von Klärschlamm- phosphat	24
E. FREI und E. SCHUETZ: Ergebnisse und Interpretation von Alters- bestimmungen in Böden	32
U. GISI und J.J. OERTLI: Veränderungen in Vegetation und Boden aufgrund der Brachlegung von Kulturland	42
M. GRATIER: Présentation de 3 feuilles du levé pédologique 1 : 25'000 du Canton de Vaud	48
J. BOEHRINGER: Propriétés structurales d'un type de sol hydromorphe sous différentes cultures à la Trinité	54

BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE

BULLETIN 2
1978

Referate der Jahrestagung vom
10. März 1978
an der ETH in Zürich

Schriftleitung : H. Sticher, Zürich

Juris Druck, Zürich

BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE

Adresse: Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau,
8046 Zürich-Reckenholz

Vorstand / Comité 1977 - 1979

Präsident	/	Président:	H. Sticher, Zürich
Vize-Präsident	/	Vice-Président:	M. Pochon, Lausanne
Sekretär	/	Secrétaire:	L.-F. Bonnard, Zürich-Reckenholz
Kassier	/	Caissier:	A. Kaufmann, Zollikofen
Beisitzer	/	Assesseur:	E. Frei, Zürich-Reckenholz

Vorsitzende der Arbeitsgruppen / Présidents des groupes de travail:

Klassifikation und Nomenklatur:	E. Frei, Zürich-Reckenholz
Körnung:	Ph. Rod, Nyon
Lysimeter:	P. Germann, Zürich
Organische Substanz:	J.-A. Neyroud, Nyon

GOETHE UND DIE BODENKUNDE

von H. Sticher

Institut für Lebensmittelwissenschaft
ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Im September 1786 begab sich Goethe auf seine nahezu zwei Jahre dauernde Reise nach Italien, welche für sein späteres Leben und Werk von tragender Bedeutung werden sollte. Der Weg führte ihn über Bozen, Venedig, Bologna nach Rom, wo er zunächst vier Monate verweilte. Im Frühjahr 1787 sodann nach Neapel und zur See nach Palermo, von wo aus er während sechs Wochen die Insel bereiste - eine kleine Expedition für die damalige Zeit. Von Messina zurück nach Neapel und wieder nach Rom. Nach nochmaligem, fast einjährigem Aufenthalt kehrte er schliesslich im Juni 1788 nach Weimar zurück.

Auf der ganzen Reise diktierte Goethe ungezählte Briefe, vor allem an Frau von Stein, sowie ein ausführliches Tagebuch, das er später zur "Italienischen Reise" verarbeitete und 1816 herausgab. Darin lesen wir:

Palermo, Mittwoch, den 4. April (1787): Die Plaine, worauf Palermo liegt, sowie ausser der Stadt die Gegend Ai Colli, auch ein Teil der Bagaria hat im Grunde Muschelkalk, woraus die Stadt gebaut ist Die untern Lager sind von weisser Farbe. Man findet darin viel versteinte Korallen und Schalthiere, vorzüglich grosse Pilgermuscheln. Das obere Lager ist mit rotem Ton gemischt und enthält wenig oder gar keine Muscheln. Ganz obenauf liegt roter Ton, dessen Lage jedoch nicht stark ist.

Palermo, Dienstag, den 10. April: Der Weg nach San Martino geht das ältere Kalkgebirg hinauf Bis an die

steilsten Höhen liegt roter Ton angeschwemmt, der hier die Dammerde darstellt, je höher je röter, wenig durch Vegetation geschwärzt. Ich sah in der Entfernung eine Grube fast wie Zinnober.

Alcamo, Donnerstag, den 19. April: Hinter Monreale, wenn man den schönen Weg verlässt und ins steinichte Gebirge kommt, liegen oben auf dem Rücken Steine im Weg, die ich ihrer Schwere und Anwitterung nach für Eisenstein hielt. Alle Landesflächen sind bebaut und tragen besser oder schlechter. Der Kalkstein zeigt sich rot, die verwitterte Erde an solchen Stellen desgleichen. Diese rote, tonig-kalkige Erde ist weit verbreitet, der Boden schwer, kein Sand darunter, trägt aber trefflichen Weizen.

Bereits 1924 machte H. Fischer auf diese Stelle aufmerksam. Er untersuchte die Böden um Palermo, bereiste die ganze Insel und kam zum Schluss, dass Goethes Beschreibung eine erstaunliche Abgrenzung des Roterdegebietes erlaubte. In der Tat decken sich Goethes Beobachtungen und Beschreibungen mit der modernen Bodenkarte Siziliens von Ballatore und Fierotti durchaus.

Die bodenkundlichen Notizen Goethes erschöpfen sich jedoch nicht mit den von Fischer zitierten Stellen. Während der ganzen Italienreise, besonders jedoch in Sizilien, notierte Goethe laufend mit trefflicher Prägnanz seine Beobachtungen über die Böden der durchwanderten Gebiete. Er beschränkte sich dabei nicht nur auf die Farbe als das augenfälligste äussere Merkmal, sondern analysierte, verglich, kommentierte, kritisierte. So vermerkt er u.a. die Textur, Gründigkeit, Dichte, ja sogar die Bildung des Bodens. Stets hebt er das für eine Lokalität charakteristische Merkmal hervor. Wenige ausgewählte Beispiele mögen dafür zeugen:

Der Weg nach Alcamo ist mit unendlichen Geschieben (von Hornstein) gemischt. Hierdurch kommt ein Anteil Kieselerde in den Boden, wodurch er lockerer wird.

.... der Boden schön gemischt, leichter als bisher, wegen des Anteils an Sand. Was ich rechts und links erkennen konnte ist älterer und neuerer Kalk, dazwischen Gips. Der Verwitterung und Verarbeitung dieser drei untereinander hat das Erdreich seine Fruchtbarkeit zu verdanken. Wenig Sand mag es enthalten, es knirscht kaum unter den Zähnen.

Der Boden ist aufgelöster Tonschiefer. Der Quarz, der sich in dieser Gebirgsart befindet und sich nicht auflöst noch verwittert, macht das Feld locker und durchaus fruchtbar.

Nun bemerkte ich die Veränderung des Ackerbodens ins bessere. Es war nicht mehr die Verwitterung des Gebirgs, sondern aufgeschwemmtes, gemischtes Erdreich. Den Regenfluss herauf hatte in uralten Zeiten Ebbe und Flut aus dem Donautal in alle die Täler gewirkt, die gegenwärtig ihre Wasser dorthin ergiessen, und so sind diese natürlichen Polder entstanden, worauf der Ackerbau gegründet ist. Diese Bemerkung gilt in der Nachbarschaft aller grössern und kleinern Flüsse, und mit diesem Leitfaden kann der Beobachter einen schnellen Aufschluss über jeden der Kultur geeigneten Boden erlangen.

Auch hier zeigt sich, wie in den botanischen Studien, dass es Goethe nie eigentlich um die Klassifikation, sondern um das Ganze, um das gestaltende Prinzip ging. Ganz am Anfang der Italienischen Reise bemerkt er, die Pflanzen betreffend:

Nun habe ich zwar meinen Linné bei mir, und seine Terminologie wohl eingeprägt; wo soll aber Zeit und Ruhe zum Analysieren herkommen, das ohnehin, wenn ich mich recht kenne, meine Stärke niemals werden kann? Daher schärf' ich mein Auge aufs Allgemeine.

Besondere Aufmerksamkeit schenkte Goethe verständlicherweise der Fruchtbarkeit der Böden. Er vermerkt den momentanen Bestand, er fragt nach Fruchtfolge, Düngung, Bearbeitung und Ertrag:

Ihr Feldebau ist auch in drei Jahre geteilt: Bohnen, Getreide und Ruhe, wobei sie sagen: Mist tut mehr Wunder als die Heiligen... Eine Strecke, nachdem wir Girgenti (heute: Agrigent) verlassen hatten, fing der fruchtbare Boden an. Es sind keine grossen Flächen, aber sanft gegeneinanderlaufende Berg- und Hügelrücken, durchgängig mit Weizen und Gerste bestellt, die eine ununterbrochene Masse von Fruchtbarkeit dem Auge darbieten. Der diesen Pflanzen geeignete Boden wird so genutzt und so geschont, dass man nirgends einen Baum sieht, ja alle die kleinen Ortschaften und Wohnungen liegen auf Rücken der Hügel, wo eine hinstreichende Reihe von Kalkfelsen den Boden ohnehin unbrauchbar macht.

Man sieht wenig Pferde auf der ganzen Tour; sie pflügen mit Ochsen Das Land wird zu Bohnen und Linsen gedüngt, die übrigen Feldfrüchte wachsen nach dieser Sömmerung.

(Der Boden) ist hellgelb und leicht zu bearbeiten. Sie pflügen tief, aber noch recht auf die ursprüngliche Art: ihr Pflug hat keine Räder, und die Pflugschar ist nicht beweglich Es wird bis fünfmal gepflügt. Wenigen und nur sehr leichten Dünger streuen sie mit den Händen. Endlich säen sie den Weizen, dann häufen die schmale Sotteln auf; dazwischen entstehen tiefe Furchen, alle so gerichtet, dass das Regenwasser ablaufen muss.... Der Weizen gedeiht hier recht schön, und er scheint hier alle seiner Natur gemässen Bedingungen zu finden.

Beziehung also zwischen Bodenqualität und Pflanzenwachstum. Geobotanik. Wie sehr Goethes universeller Geist und seine untrügliche Beobachtungsgabe auch auf diesem Gebiet zukunftsweisend war, möge das folgende Zitat beleuchten:

Was mich noch aufmerksamer machte, war der Einfluss, den die Gebrighöhe auf die Pflanzen zu haben schien. Nicht nur neue Pflanzen sah ich da, sondern das Wachstum der alten verändert.

Um Goethes Notizen zur Bodenkunde richtig einzuschätzen, muss man die Situation kennen, in welcher sich die Fachwissenschaft vom Boden in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts befand. Zunächst ist zu bemerken, dass es eine Bodenkunde als selbständige Wissenschaft noch nicht gab. Ausführungen über den Boden fanden sich in Haushaltbüchern, Werken über allgemeine Agronomie u.ä. Das erste Lehrbuch der Bodenkunde erschien 1814 (Hundshagen).

Aus dem Mittelalter liegen kaum nennenswerte Angaben über den Boden vor. Was sich findet, beschränkt sich weitgehend auf praktische Anleitungen zur Bearbeitung und Bebauung. Die "Wissenschaft" beschäftigte sich mit Alchemie, suchte nach dem Stein der Weisen, nach Gold. Die naturwissenschaftliche Autorität blieb, noch lange nach Galilei, Aristoteles. Es verwundert daher nicht, dass die Kenntnis des Bodens bis ins 18. Jahrhundert hinein kaum über das überlieferte Wissen der Römer hinausging. Im alten Rom hatten sich vor allem Virgil, Plinius der Ältere und Columella mit dem Landbau befasst. Im 1. Jh. vor Christus beschrieb Virgil in seiner Geogica Geruch, Gefühl und Farbe als Kriterien der Beurteilung und Einteilung des Bodens. Den schwarzen Boden hob er hervor; salzige und übelriechende Böden bezeichnete er als unfruchtbar. Im vollständig erhaltenen Werke "De re rustica" unterschied Columella (1. Jh. nach Chr.) bereits Boden-"Genera" nach der Lage sowie "Species et Varietates" nach der Beschaffenheit und den darauf wachsenden Pflanzen. Er beschrieb fette, magere, mürbe, zähe, trockene und feuchte Böden. Entstehung und Umwandlung fanden dagegen keine Erwähnung.

Ähnlich wie Columella teilte noch anfangs des 18. Jahrhunderts der Pfalzgraf Franz Philipp vom Rhein die Böden ein. J.B. von Rohr fügte dem die Einteilung nach der Korngrösse bei und unterschied neben schwarzen, roten, grauen und gelben noch steinige, sandige und tonige Böden. Wie sehr jedoch die um die selbe Zeit aufkeimende, naturwissenschaftliche Betrachtungsweise gegen tradierte alchemistische Vorstellungen

gen zu kämpfen hatte, beweist A. Zeiger, der noch um 1750 die Bodenarten den vier Temperamenten des Menschen zuordnete, oder Otto von Münchhausen, nach welchem "durch die Kraft des Feuers aus dem Erdinnern fruchtbare Dämpfe aufsteigen und in die Atmosphäre entweichen, von wo sie durch den Regen ins Meer und damit wieder ins Erdinnere gelangen."

Wen verwundert es, dass der selbe Münchhausen 1766 klagte: "Fast in allen Haushaltwerken wird von den verschiedenen Erdarten und Unterschieden gehandelt; wenn man aber alles durchgelesen hat, so weiss man soviel wie nichts davon". Einen wirklichen Fortschritt brachte erst das Werk "Agriculturae fundamenta chemica" des Schweden J.G. Wallerius (1709-1785), das 1761 in Uppsala erschien, schon 1764 ins Deutsche übersetzt wurde und rasch eine weite Verbreitung fand. Wallerius fasste nicht nur die damaligen Kenntnisse über den Boden zusammen und befreite sie seinen Möglichkeiten entsprechend von obskuren Hypothesen und Theorien, sondern trug durch eigene breitgefächerte Forschungen wesentlich zur Verbreitung klarerer Vorstellungen bei. Allerdings blieb auch er noch der Idee verhaftet, dass sich Wasser im Boden in Erde verwandelt. Wohl um dies zu beweisen, förderte er die chemische Untersuchung des Bodens, mit der sich dann sein Schüler und Nachfolger Bergmann intensiv beschäftigte.

Die umfassendste Bodenklassifikation, die zur Goethezeit weite Geltung erlangte, stammt jedoch vom Botaniker Carl von Linné (1707-1778). Linné teilte die Böden ein in: Gartenerde, schwarze Felderde, Marscherde, Schlamm-erde, Teicherde, gelben Lehm, Klayerde, gemeinen Ton, Töpferton, Mergelkalkerde, Tonerde, Flugsand, Ockererde, steinige Erde und Steinfelsen. Wie oben bereits erwähnt wurde, war Linnés Werk Goethe bestens bekannt.

Vergleicht man Goethes Notizen und Betrachtungen zur Bodenkunde mit den Ausführungen seiner fachwissenschaftlichen Zeitgenossen, kommt man zum Schluss, dass Goethe nicht nur

genauer beobachtete und treffender beschrieb, sondern vielfach auch klarere Vorstellungen über die Zusammenhänge entwickelte. In vielen Punkten war er seiner Zeit um Jahrzehnte voraus. Er deutete Forschungsgebiete an, die erst weit im 19. Jahrhundert ihre Bearbeiter fanden.

Für das Verständnis von Goethes enger und fruchtbarer Beschäftigung mit dem Boden ist es notwendig, kurz auf seine Beziehung zu den Erdwissenschaften und zur Naturwissenschaft allgemein einzugehen. Bereits als Knabe begeisterte er sich für die Edelsteine, als er in Hanau ein Schmuckstück abholen musste und sich während des langen Wartens vom Juwelier in die Edelsteinkunde einführen liess:

Er suchte mir die Kenntnis dieser Steine beizubringen, machte mich auf ihre Eigenschaften, ihren Wert aufmerksam, so dass ich sein ganzes Bukett zuletzt auswendig wusste und es ebenso gut wie er einem Kunden hätte anpreisend vordemonstrieren können. Es ist mir noch jetzt gegenwärtig
(Dichtung und Wahrheit, I. Teil, 4. Buch).

Als Geheimer Rat des Herzogs Karl August von Weimar veranlasste er, den stillgelegten Stollen des Bergwerks Illmenau wieder zu aktivieren. Er beschäftigte sich dazu als Jurist nicht nur mit dem Bergrecht und der Beschaffung der notwendigen Bergleute und Finanzen, sondern eignete sich in kurzer Zeit ein erstaunliches geologisches Wissen an, das er durch eigene Feldbeobachtungen dauernd ergänzte. Meist führte er von da ab auf seinen Wanderungen und Reisen einen Geologenhammer mit sich. Das Einpacken der Steine, die er während seiner dritten Schweizerreise (1797) im Gotthardgebiet gesammelt hatte, beschäftigte ihn mehrere Tage. Ueber den Granit verfasste er eine Abhandlung, "eine wahrhaft Goethe'sche Schau, eine naturwissenschaftliche Hymne" (Guggenheim). Auch ein kurzer Versuch über die Edelsteine entstand.

Die Beschäftigung mit den Erdwissenschaften bedeutete nur den Anstoss und Anfang von Goethes Beschäftigung mit der

Natur. Sein Studium der Botanik, die Suche nach der Urpflanze, seine anatomischen Forschungen und schliesslich der Gipfel seiner Naturphilosophie, die Farbenlehre seien hier nur am Rande erwähnt. Schon früh hatte er bei seinen Naturstudien erkannt, dass er auf sich selber angewiesen war, dass er auf die etablierte Wissenschaft nicht zählen konnte. Diese Erkenntnis liess ihn eigene Wege gehen und gab seiner Naturforschung einen ganz persönlichen Stil.

Der Landwirtschaft stand Goethe zeitlebens wohlwollend gegenüber. Um auf diesem Gebiete Fortschritte zu erzielen, hatte man aus England George Batty, einen Fachmann für Landbau, Bewässerung und Meliorationswesen nach Weimar geholt. Für Batty brachte Goethe eine ganz besondere Hochachtung auf.

Noch enger war seine Beziehung zum Gartenbau. Gleich bei seiner Ankunft in Weimar 1776 erhielt er von Karl August ausserhalb der Stadt ein Grundstück mit einem Gartenhaus geschenkt. Der Garten wurde nach seinen Vorstellungen und Plänen gestaltet und bildete für ihn bis ins hohe Alter oft für Tage den Ort der Zuflucht und der Einkehr oder des einsamen Gesprächs mit Freunden. In seinen Tagebüchern finden sich anfangs spärlich, später immer häufiger, zuweilen täglich Eintragungen, den Garten betreffend. Später errichtete er auch hinter seinem Stadthaus am Frauenplan in Weimar einen Garten, in welchem er spazierte, dichtete, sich erholte, Gespräche führte und selbstverständlich seinen botanischen Studien oblag.

Aus dieser Sicht betrachtet fügen sich die Bemerkungen über Geologie, Boden, Botanik und Landbau in der Italienischen Reise in ein Ganzes.

Lassen Sie mich zum Schluss noch einen Blick auf die Schweiz tun. 1797 zog es Goethe, nun 48-jährig, erneut gegen Süden. Verschiedene aufgestaute Probleme trieben ihn aus Weimar fort. Ueber Frankfurt und Stuttgart gelangte er am 19. September 1797 nach Zürich und Stäfa, wo er sich mit seinem eben aus Italien zurückgekehrten Schweizer Malerfreund

Heinrich Meyer traf. In dessen Begleitung machte er "eine kleine Tour" auf den Gotthard. Die Route führte über Einsiedeln, Brunnen, Flüelen, Hospental zum Hospiz, dann zurück nach Flüelen, mit dem Schiff nach Beckenried, weiter über Stansstad, Küsnacht, Zug zurück nach Stäfa.

Es war Goethes dritte Reise auf den Gotthard. Bereits als 26-jähriger war er 1775, auch damals von Zürich aus, hinaufgestürzt. Im vierten Teil von "Dichtung und Wahrheit" hat er als 81-jähriger jene Reise dichterisch nachvollzogen. Das zweitemal kam er von Genf her angereist, durch das Wallis herauf, in Begleitung seines jungen Landesherrn Herzog Karl August, im Herbst 1779. Ihren dichterischen Niederschlag fand diese zweite Schweizerreise in den "Briefen aus der Schweiz", die 1796 in Schillers Zeitschrift "Die Horen" veröffentlicht wurden.

Zu Beginn der dritten Reise, aus Frankfurt, schrieb Goethe an Schiller:

Ich gewöhne mich nun an, alles, wie mir die Gegenstände vorkommen und was ich über sie denke, aufzuschreiben
(Frankfurt, 9. August 1797).

Für einen Reisenden geziemt sich ein skeptischer Realismus; was noch idealistisch an mir ist, wird in einem Schatullchen, wohlverschlossen, mitgeführt (Frankfurt, 12. August 1797).

Getreu diesen Vorsätzen diktierte Goethe seinem Schreiber Ludwig Geist, ohne künstlerische Absicht, seine Beobachtungen und Reflexionen über die Landschaft, die Geologie, den Feldbau, die Oekonomie, die Nutzung und Fruchtbarkeit der Böden:

Hinter Haltingen (nördlich Schaffhausen) guter Boden, anfangs stark mit Steinen gemischt, nachher weniger und dann meist rein. Einiges schien Neubruch und war es auch, denn die Aecker bleiben neun Jahre als Wiese liegen und werden dann wieder andere neun Jahre benutzt. Einige Steinbrüche zum Behuf

der Chaussee zeigen, dass der Kalkfels nicht tief unter der fruchtbaren Erde liegt. (17. September 1797)

Die Gegend (bei Bülach) hat im Ganzen nichts sonderlich charakteristisches, links fruchtbare Plaine, vorwärts die Gebirge; der Boden ist fruchtbar und gut gearbeitet, war an verschiedenen Orten sehr kiesig und mit unzähligen Geschieben übersät. - Kloten. (19. September 1797)

(Oberhalb Richterswil). Die graue Wacke scheint die Hügel zu bilden. Ausgestochene Torfflächen. Man sieht, wie durch Binsen, Heide und dergleichen sie wieder nach und nach ausfüllen und anwachsen können ... Wiesen, Frucht, Kartoffelbau. Man wechselt so mit Benutzung des Bodens um. Hüttensee, nicht gross; er hat gute Fische und Krebse, liegt rechter Hand. (28. September 1797)

Um halb neun von Hospental aufwärts. Glimmerschiefer mit vielem und schönem Quarz ... Ungeheure, glatte Wände des blättrigen Granites. Grosse Massen, Platten und Blöcke desselben Gesteins. Wasserfall. Ganz heiterer Himmel. Wir nahen uns nun nach und nach dem Gipfel. Moor, Glimmersand. Schnee. Alles quillt um einen herum. Seen.

(3. Oktober 1797)

1779, als 30-jähriger, hatte Goethe die Ankunft auf dem Gotthard noch anders empfunden. Geologie, und Naturwissenschaft überhaupt, waren damals noch kaum vorhanden in seinem Bewusstsein. Er beobachtete, empfand, beschrieb als Dichter:

So langten wir endlich auf dem Gipfel des Berges an, den Sie sich wie einen kahlen Scheitel, mit einer Krone umgeben, denken müssen. Man ist hier auf einer Fläche, ringsum wieder von Gipfeln umgeben, und die Aussicht wird in der Nähe und Ferne von kahlen und auch meistens mit Schnee bedeckten Rippen und Klippen eingeschränkt.

(13. November 1779)

Die Synthese der beiden Betrachtungsebenen, gleichsam die Summe der Beschäftigung mit dem Boden, fand schliesslich Eingang in den Faust, wo Goethe den Dr. Faust, im Vorgefühl des höchsten Glückes, sagen lässt:

Ein Sumpf zieht am Gebirge hin,
verpestet alles schon Errungene,
den faulen Pfuhl auch abzuziehn,
das letzte wär das Höchsterrungene.
Eröffn ich Räume vielen Millionen,
nicht sicher zwar, doch tätig frei zu wohnen.

Für die freundliche Ueberlassung der Carta dei Suoli della Sicilia danke ich Herrn Prof. G. Fierotti, Palermo, herzlich.

Literatur

- J.W. Goethe: Werke (im besonderen: Italienische Reise. Briefe aus der Schweiz, Reise in die Schweiz. Dichtung und Wahrheit. Faust II. Briefwechsel mit F. Schiller).
- R. Friedenthal: Goethe, sein Leben und seine Zeit. Ex Libris Verlag Zürich 1977.
- G. Balzer: Goethe als Gartenfreund. W. Heyne Verlag, München 1976.
- K. Guggenheim: Der labyrinthische Spaziergang. Verlag Huber, Frauenfeld 1975.
- H. Fischer: Goethe und die sizilianische Roterde. Int. Mitt. Bodenk. 2.Serie 1, 131-136 (1924).
- O. Neuss: Die Entwicklung der Bodenkunde von ihren Anfängen bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Int. Mitt. Bodenk. 4, 453-495 (1914).
- F. Giesecke: Geschichtlicher Ueberblick über die Entwicklung der Bodenkunde bis zur Wende des 20. Jahrhunderts. In: Handbuch der Bodenlehre (E. Blanck ed.) Band 1, S. 28-86, Berlin 1929.
- G.P. Ballatore e G. Fierotti: Carta dei Suoli della Sicilia (1 : 250 000), Palermo 1968.

DYNAMIQUE DE L'AZOTE MINERAL DU SOL DANS UN ESSAI DE FERTILISATION ORGANIQUE ET MINERALE

J.A. NEYROUD, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, CH-1260 Nyon, avec la collaboration du Dr A. VEZ pour la conduite de l'essai au champ.

INTRODUCTION

La quantité d'énergie requise pour la synthèse des engrais azotés, le danger d'eutrophisation des cours d'eau par des fumures exagérées et les préoccupations récentes sur la qualité des produits alimentaires ont mis en évidence l'importance d'une meilleure connaissance de la dynamique de l'azote dans le sol.

Sur le plan agronomique, on s'efforce de faire coïncider par des techniques judicieuses de fertilisation la quantité d'azote disponible dans le sol avec les besoins des plantes cultivées. La quantité d'azote disponible (NO_3^- et NH_4^+ principalement) ne dépasse guère 2 % de la quantité d'azote total dans le sol, et subit d'importantes fluctuations en relation avec les conditions atmosphériques. En outre, cultures et amendements organiques des années précédentes influencent encore le rythme de mise à disposition de l'azote (minéralisation) en cours d'année. Un conseil de fumure azotée est dès lors difficile à donner.

Nous avons mis en route un essai de longue durée destiné à améliorer notre compréhension de quelques aspects de la dynamique de l'azote et de la matière organique du sol. Dans le présent article, nous étudions les variations des teneurs en azote minéral des sols au cours des deux premières années de l'essai.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Un essai sur une parcelle en rotation maïs-blé-orge-colza-avoine-blé a été mis en place en automne 1975. Il est divisé en 6 variantes de fumure organique (témoin, engrais vert, paille, 350 et 700 q/ha/3 ans fumier, 60m³ purin complet/ha/an) comprenant chacune 4 niveaux de fumure minérale dont le niveau sans azote. En outre la parcelle a reçu une fumure PK normale. L'azote nitrique et ammoniacal a été dosé chaque semaine sur

l'horizon Ap des 24 variantes en 1976 et 1977. Les mesures de 1977 ont été complétées par des prélèvements périodiques jusqu'à une profondeur de 60 cm effectués à l'aide d'un appareil hydraulique de carottage. Les échantillons frais sont amenés sans délai au laboratoire et agités dans une solution de KCl 2N ; les dosages de NH_4^+ et NO_3^- sont effectués selon BREMNER par distillation en présence de MgO et d'alliage Devarda. Quelques méthodes spécifiques de dosage de nitrates ont été essayées avec succès (électrode spécifique, colorimétrie, chromatographie en phase gazeuse), mais elles ont toutes l'inconvénient de requérir une extraction dans l'eau déminéralisée, ce qui augmente le nombre des manipulations.

RESULTATS

1. Année 1975/76

Hiver. Durant l'hiver, les teneurs en azote minéral (N_{min}) dans le sol nu labouré sont faibles et oscillent entre 2 et 10 ppm (mgN/kg terre sèche). Elles sont toujours semblables pour un même jour de prélèvement et sont en relation avec la température et la pluviométrie, sans qu'il soit possible d'établir une nette corrélation avec ces paramètres. Nous avons essayé de mettre en évidence l'effet de l'amendement organique d'automne sur les teneurs en N_{min} durant l'hiver en cumulant les résultats hebdomadaires. On peut voir sur la fig. 1 que

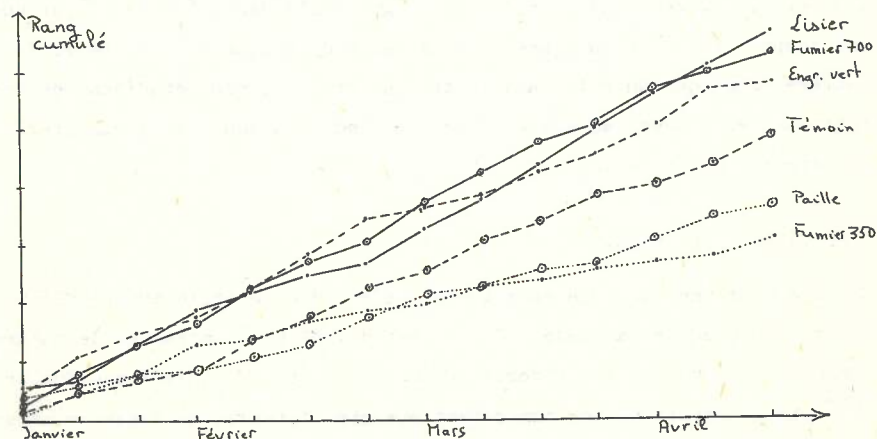


Fig. 1. Courbe cumulative des rangs obtenus lors de 14 dosages de N_{min} de janvier à avril 1976 (pas de fumure minérale).

les amendements lisier, fumier 700 q et engrais vert ont contribué à maintenir dans les sols une concentration en N_{min} légèrement supérieure aux autres.

Période de végétation. Dès la mi-avril, le réchauffement du sol a accéléré la production de N_{min} ; en outre, une culture de maïs a été mise en place et fertilisée. Les courbes des teneurs des sols en N_{min} en fonction du temps ont toutes la même allure, présentant deux maxima à fin-mai et fin-juillet (fig. 2a). L'effet des doses croissantes d'engrais minéral se traduit par des concentrations élevées dans les sols, atteignant 80ppm, ce qui correspond à une quantité totale de 320 kg N_{min} /ha dans l'horizon Ap (0-25 cm). Il est intéressant de noter que les fluctuations des concentrations dans les parcelles 0 N_{min} sont en étroite relation avec celles des parcelles fertilisées.

L'appréciation de l'effet de l'amendement organique sur la teneur du sol en N_{min} est plus difficile à mettre en évidence, car il est masqué par les engrais minéraux. Dans les variantes sans azote minéral, les teneurs en N_{min} des sols sont plus élevées en présence d'amendements organiques copieux (engrais vert, lisier, fumier 700 q) que dans les autres variantes. Lorsque la fumure minérale est augmentée, on observe que les teneurs en N_{min} de la variante engrais vert restent les plus élevées et que celles des variantes fumier 350 q, paille et témoin tendent à dépasser celles des variantes fumier 700 q et lisier. Ceci semble indiquer que l'azote est plus facilement réorganisé en présence d'un amendement organique, et que les pertes par lessivage sont moindres. Il ne faut en effet pas oublier que la quantité d'azote dosée dans le sol représente ce qui reste après le prélèvement de la plante, la réorganisation et le lessivage.

Teneurs des sols en nitrates. Nous avons dosé la part de N_{min} à cinq reprises entre la fin-mai et la fin-juillet en utilisant la méthode par différence préconisée par BREMNER, avec ou sans alliage Devarda. On constate que la nitrification est rapide : six semaines après la fumure au nitrate d'ammoniaque, aucun sol ne contient moins de 70 % de nitrates dans la fraction N_{min} . En moyenne de nos mesures, l'azote

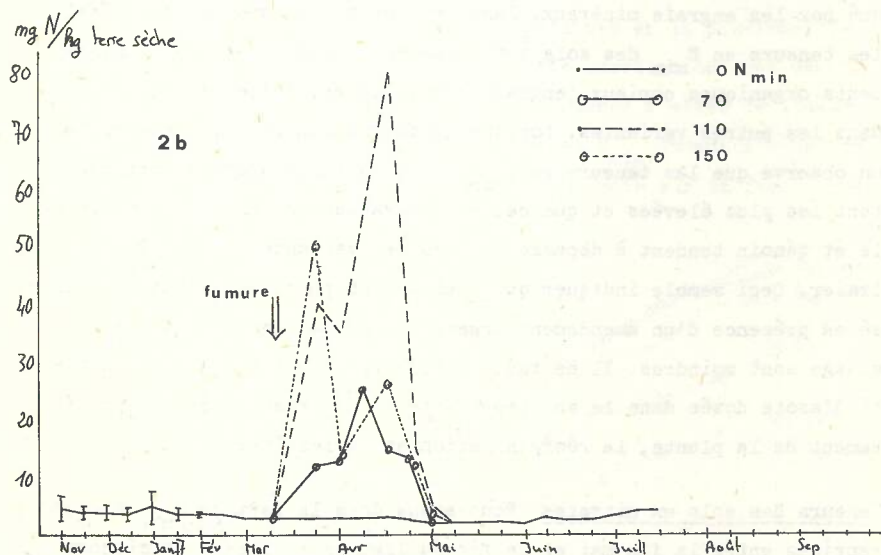
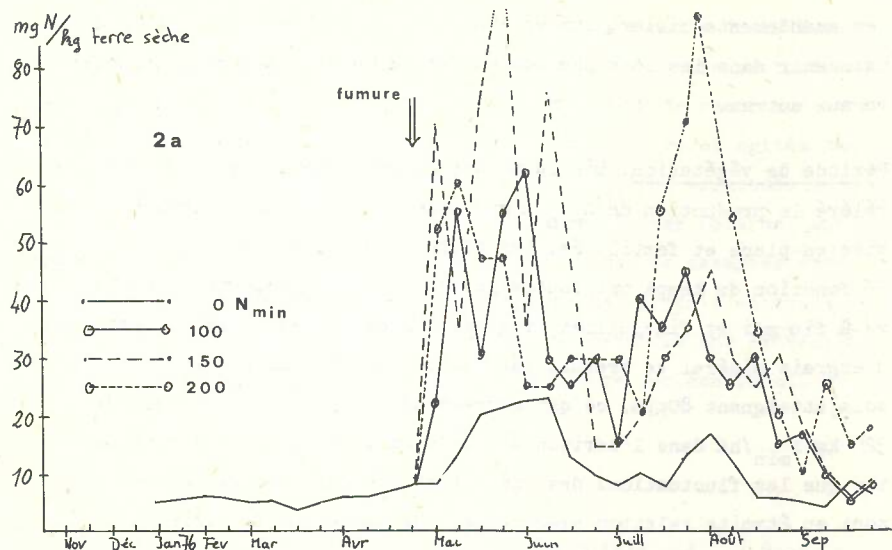


Fig. 2. Evolution des teneurs du sol en N_{min} .

- 2a : 1976, témoin sans amendement organique, maïs-grain.
- 2b : 1977, témoin sans amendement organique, blé.

nitrique a constitué 84 % de l'azote minéral ; ce pourcentage a varié en raison inverse de la dose de fumure minérale (77-89 %) et a été le plus élevé dans les variantes fumier 700 q et lisier.

Rendements. L'année 1976 a été exceptionnellement sèche à Changins et on a enregistré un déficit hydrique record de 350 mm au début de juillet. Le rendement du maïs a été affecté par la sécheresse et les fumures appliquées n'ont pas été déterminantes puisqu'aucun rendement n'est significativement différent des autres, à l'exception de la variante 0 N + paille qui a souffert du manque d'azote (49,7 q/ha grains de maïs). Le rendement moyen en grains a été de 56.95 q/ha. Le prélèvement total d'azote par la culture a également été plus faible dans la variante paille.

2. Année 1976/77

Les dosages de N_{min} effectués de novembre à juillet dans une culture de blé Zénith ont montré des valeurs totalement différentes de celles de l'année précédente. On peut distinguer trois périodes distinctes sur la figure 2b : l'hiver, la période de cinq semaines qui suit la fumure minérale, et le reste de la saison.

Hiver. La teneur moyenne des échantillons en N_{min} varie entre 2 et 5 ppm d'azote. Comme nous sommes maintenant en deuxième année d'essais, les fumures de l'année précédente devraient avoir un certain arrière-effet sur la teneur des sols en N_{min} . Cette hypothèse se confirme partiellement, mais les différences observées sont très faibles et difficiles à séparer de l'erreur d'analyse (micro-dosage à l'acide H_2SO_4 0.005 N). La fumure minérale appliquée en 1976 se traduit par des teneurs des sols en N_{min} plus élevées que dans les variantes 0 N. En ce qui concerne l'arrière-effet des amendements organiques, il est surprenant de constater des différences si faibles entre variantes ; ceci est particulièrement frappant pour la variante lisier, dont le sol n'a été que faiblement enrichi en N_{min} par l'apport annuel de cet amendement.

Période de végétation. La fumure minérale est à l'origine de l'enri-

chissement des sols en $N_{\min}$, mais cette période est de courte durée. La moyenne hebdomadaire va passer en cinq semaines de 35 ppm (fumure) à 3 ppm, valeur qui ne sera plus dépassée jusqu'à juillet. Les variantes 0 $N_{\min}$ n'ont à aucun moment vu leurs teneurs en $N_{\min}$ augmenter par suite de la minéralisation naturelle de l'azote due au réchauffement des sols. Dans de telles conditions, il est difficile de mettre en évidence l'effet des amendements organiques et celui des fumures minérales, une fois passée la période qui suit immédiatement la fumure.

Nous avons introduit cette année une variante supplémentaire "sol nu"; les dosages effectués sur cette variante montrent une légère augmentation de $N_{\min}$ en juin, correspondant à la minéralisation réelle du sol en l'absence de prélèvement par la culture. Il faut donc constater que les sols sont restés très pauvres en $N_{\min}$ durant toute la période de végétation.

Observations sur les profils de $N_{\min}$. L'acquisition d'une sonde hydraulique pour le prélèvement des carottes de terre (0-60 cm) a permis d'étudier chacun des 24 profils de $N_{\min}$ à sept reprises entre février et juin. Malgré les faibles différences enregistrées, les variantes à forte fumure minérale sont plus riches en $N_{\min}$ sur toute l'épaisseur du profil. On retrouve également des teneurs en $N_{\min}$ un

Tableau 1. Teneurs moyennes des sols en azote minéral à différentes profondeurs (mgN/kg terre sèche)

Profondeur	Dates de prélèvement							Ø
	21 02	28 03	18 04	03 05	16 05	31 05	13 06	
0-15 cm	2.7	35.2	15.0	2.8	1.7	1.4	2.2	8.7
15-30 cm	2.3	5.1	3.8	1.5	1.9	1.9	2.2	2.7
30-45 cm	1.7	6.1	4.4	1.5	1.7	1.3	2.3	2.7
45-60 cm	1.6	4.1	4.2	1.5	1.3	1.1	1.2	2.1

peu plus élevées en profondeur dans le sol ayant reçu du lisier à l'automne. Une tendance à la percolation de l'azote vers la profondeur est décelable sur le tableau 1 ; en effet, les concentrations les plus élevées de $N_{\min}$ se trouvent à une profondeur de 40 cm au mois de juin. A cette date, on peut penser que les racines du blé prélèvent leur azote sur toute l'épaisseur du profil, ce qui est confirmé par les teneurs en $N_{\min}$ sous le sol nu, légèrement supérieures aux autres à toutes les profondeurs.

Teneurs des sols en nitrates. Comme le laissaient prévoir les faibles doses de $N_{\min}$ enregistrées durant la période de végétation, la nitrification a été très faible dans toutes les variantes de l'essai. La part de NO_3^- décroît avec une fumure croissante par le nitrate d'ammoniaque ; elle est un peu plus élevée en présence des amendements riches et du témoin qu'en présence d'amendements pauvres ou déséquilibrants. Cependant, le phénomène principal caractérisant cette année est la mauvaise nitrification : il n'y a jamais eu dans le sol plus de 50 % de $N_{\min}$ sous la forme d'azote nitrique. A titre de comparaison, la moyenne des dosages de 1976 était de 84 % de $N_{\min}$ sous forme nitrique.

Rendements. Les rendements en blé Zénith ont été fortement influencés par la fumure minérale, malgré les différences peu marquées constatées à l'analyse des sols. Pour une fumure croissante de 0 à 150 unités N/ha, les rendements ont été de 18.7, 31.9, 40.1 et 45.2 q/ha. L'arrière-effet des amendements organiques n'est visible que pour le fumier 700 q, mais les différences de rendements sont à peine significatives à $P = 0.05$.

DISCUSSION

Les résultats des deux premières années d'expérience permettent déjà quelques constatations intéressantes. Tout d'abord, nous observons que les différences de rendement ne sont pas toujours liées à des différences de teneurs des sols en $N_{\min}$. Lorsqu'il s'agit de donner un conseil de fumure azotée, il convient donc de s'intéresser autant à la faculté

du sol de minéraliser l'azote qu'à la teneur actuelle du sol en $N_{\min}$. Certains travaux récents (LANGLET, STUMPE) proposent une méthode de détermination de la dose de fumure minérale selon l'équation : besoin de la culture = $N_{\min}$ du sol à la sortie de l'hiver + prévision de minéralisation de l'humus et des amendements organiques + prévision des arrière-effets du précédent + solde par des engrais minéraux. Cette direction de recherches semble prometteuse.

La teneur du sol en NO_3^- semble étroitement liée aux conditions climatiques et notamment à la possibilité de renouvellement de l'air du sol. En période humide, et dans des sols gorgés d'eau, cette possibilité fait défaut : la moyenne de nos dosages en 1977 (Horizon Ap) est de 5.6 ppm $N_{\min}$, dont 4.6 ppm N ammoniacal et 1.0 ppm N nitrique, chiffres à comparer avec la moyenne pour 1976, qui fut de 31.0 ppm N, dont 5.1 ppm N ammoniacal et 25.9 ppm N nitrique. Les faibles teneurs en nitrates du sol cultivé ne sont cependant pas alarmantes, car elles indiquent simplement que la culture prélève la totalité des nitrates produits (GUIOT).

La relative pauvreté en $N_{\min}$ des variantes ayant reçu du lisier à l'automne est surprenante. Si vraiment cet azote a été perdu par lessivage, il faudrait conclure que les apports de lisier ne sont utiles que lorsqu'ils sont épandus sur des cultures en place pouvant utiliser immédiatement l'azote. L'épandage sur sol nu (labour) constituerait alors une erreur.

Les dosages de $N_{\min}$ sur les profils ne montrent pas d'importantes pertes par lessivage en 1977 malgré la pluviosité élevée. Il est probable que l'état physico-chimique du sol a empêché la nitrification de se dérouler normalement et que d'importantes pertes d'azote sous forme gazeuse ont eu lieu (dénitrification). Dès l'an prochain, nous couplerons nos dosages de $N_{\min}$ avec des mesures de la dynamique de l'eau du sol afin d'esquisser un bilan de l'azote minéral du sol.

Les résultats obtenus lors des deux premières années d'expériences montrent que les essais de fumure doivent être poursuivis durant plusieurs années avant de donner des renseignements valables. Les différences climatiques entre les années ainsi que les arrière-effets des cultures précédant l'essai jouent un rôle considérable et augmentent la variabilité

des résultats. Cependant, on peut penser que la somme des informations recueillies permettra bientôt de pratiquer les techniques de fumure azotée avec les meilleures chances de succès.

BIBLIOGRAPHIE

- BREMNER, 1965. Methods of soil analysis Part II. American society of agronomy, Madison, Wisc. USA, pp. 1191-1205.
- GUIOT J., 1975. Estimation des réserves azotées du sol par détermination de l'azote minéral. Rev. Agric., 28, 5, 1117-1132.
- LANGLET B., 1977. Méthode de prévision de la fumure azotée du blé d'hiver. Publ. interne. Institut techn. des céréales et des fourrages. F-91920 Boigneville.
- STUMPE H., 1977. Einfluss verschiedener Vorfrüchte und Düngungsmassnahmen auf den Gehalt des Bodens an anorganischem und mineralisierbasem Stickstoff und die Effektivität der N-Düngung zu Winterweizen. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin, 21 (7), 575-586.

FORM UND WIRKSAMKEIT VON KLAERSCHLAMMPHOSPHAT

S.K. Gupta und H. Häni

Eidg. Forschungsanstalt für
Agrikulturchemie und Umwelthygiene
3097 Liebefeld-Bern

1. Einleitung

Seit 1971 beobachtet man eine stete Zunahme des Phosphatgehaltes im Klärschlamm, was wahrscheinlich auf die vermehrte Einführung der Phosphatfällung, sogenannte chemische Stufe (in den meisten Fällen Fe-III-Clorid als Fällungsmittel) zurückzuführen ist. Nach Furrer (2) betrug 1971 das Jahresmittel der P-Gehalte in g P/kg Trockensubstanz noch 11 g, während in den Jahren 75/76 bereits 23 g gemessen wurden. Dies entspricht ungefähr einem Drittel des Gehaltes in Thomasmehl. Wenn auch feststeht, dass Phosphat im Klärschlamm ausschliesslich mit Eisen (III) assoziiert ist, so ist doch die chemische Form, in der Phosphat im Klärschlamm auftritt, nicht bekannt.

Es sind zwei Grenzfälle denkbar:

- Es werden direkt Hydroxidphosphate gebildet (Fällungsprodukte),
- bei der Phosphatfällung mit Eisen (III)-chlorid entsteht zunächst ein Eisen (III)-oxidhydroxid, an dessen Oberfläche Phosphat adsorbiert wird.

In dieser Arbeit werden beide Prozesse studiert, um feststellen zu können, welche Reaktion (a oder b) bei der Bildung von Klärschlammphosphat Vorrang hat (3). Zur Bestimmung der chemischen Form von Klärschlammphosphat haben wir auch eine indirekte Methode - den Pflanzenversuch - verwendet (3). Zudem liefern die Pflanzenversuche mit verschiedenen Klärschlämmen wertvolle Hinweise über die P-Wirksamkeit (4).

2. Experimentelles

Die zur Klärung der in der Einleitung aufgeworfenen Fragen durchgeführten Versuche sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

3. Resultate und Diskussion

3.1 Form von Klärschlammphosphat

Im ersten Versuch wurde eine Reihe von Eisenphosphat-Fällungsprodukten hergestellt. Der Wirkungsgrad des Eisen (III)-chlorids im Hinblick auf die Phosphat-Elimination ist stark vom Fällungs-pH abhängig. Es wird beobachtet, dass durch Eisen (III)-chlorid die grösste Menge an Phosphat bei molaren P/Fe - Verhältnissen >1 eliminiert wird, was vermuten lässt, dass beim Prozess der Phosphat-Bindung nicht nur Eisen (III)-Ionen, sondern auch kolloide Eisenhydroxide beteiligt sind. Bei pH 2,5 und einem Ueberschuss an Phosphat wird ein kristallines Produkt ähnlich dem Strengit erhalten. Die Bildung von Strengit aus frischen

Lösungen bei Raumtemperatur wurde bis heute nicht mitgeteilt. Alle übrigen Fällungsprodukte sind röntgenamorph, Typ

$\text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{H}_2\text{O})_2(\text{PO}_4)_{x-y/3}$, woraus gefolgert wird, dass unter den in Kläranlagen herrschenden Bedingungen die Möglichkeit zur Bildung kristalliner Eisenphosphate nicht gegeben ist.

Die Resultate von Adsorptions- und Fällungsversuchen sind in Fig.1 dargestellt. Die Verteilungskoeffizienten D für beide Versuche gehorchen der folgenden empirischen Beziehung, die die Form einer Freundlich Isotherme aufweist:

$$D = \frac{\{P\}_{\text{adsorbiert oder im Fällungsprodukt}} \text{ mM p/kg}}{[P]_{\text{im Filtrat}} \text{ mM/l}}$$

$$D = a \cdot x^b \quad \text{wo } x = [P]_{\text{im Filtrat}}$$

Für Adsorptionsreaktion:

$$a = 312,5-23,6 \text{ (pH)}$$

$$b = -5,7 \cdot 10^{-4} \text{ (pH)}$$

Für Fällungsreaktion:

$$a = 17749,6-1893,5 \cdot \text{(pH)}$$

$$b = 1,32 \cdot \text{(pH)}$$

Diese Resultate bestärken obige Aussage, wonach beim Prozess der Phosphat-Bildung nicht nur Eisen (III)-Ionen, sondern auch kolloide Eisenhydroxide beteiligt sind.

Mit fortlaufenden Extraktionsverfahren soll einerseits festgestellt werden, ob das im Klärschlamm und den Fällungsprodukten mit dem Eisen (III) assoziierte Phosphat austauschbar ist, andererseits erhoffen wir uns aus diesen Versuchen auch Hinweise über die Bindungsstärke. Die Untersuchungen (Tabelle 2) mit reinem Eisenphosphat (Fällungsprodukte) haben gezeigt, dass die Extraktionsmittel NH_4Cl , NH_4F und NaOH ausschliesslich oberflächlich gebundenes Phosphat austauschen, wobei das am schwächsten adsorbierte Phosphat durch Cl^- und das am stärksten adsorbierte durch OH^- Liganden ausgetauscht wird. Der prozentuale Eisenanteil, der in NH_4Cl und NaOH gelöst wird, liegt nämlich unter 0,02 %. Einzig in NH_4F gehen 2-5 % des gesamten Eisens in Lösung. Schwefelsäure (H_2SO_4) löst dann den Hauptteil des Eisens (94-98%), so dass in diesem Lösungsmittel stärker adsorbiertes Phosphat und solches, das Teil von homogen gefällten Eisenphosphaten ist, freigesetzt werden. Tabelle 2 zeigt, dass die Summe von NH_4Cl -, NH_4F - und NaOH -löslichem Phosphat in den Schlämmen Worblaufen und Bärenswil 60 % und mehr beträgt. Die Tatsache, dass sich im Schlamm Worblaufen 30,1 % vom Total-P in NH_4Cl lösen, während in diesem Extraktionsmittel aus dem Schlamm Bärenswil nur 1,9 % in Lösung gehen, dürfte durch den geringeren Eisengehalt erklärbar sein. Dies wird auch durch den Pflanzenversuch bestätigt, indem der Schlamm Worblaufen eine bessere P-Ausnutzung (entsprechend einer höheren Löslichkeit in Citronensäure) als der Schlamm Bärenswil zeigt (Tabelle 3 und 4).

Da der Klärschlamm Worblaufen aus einer Anlage mit Fe-Fällung stammt, wurde dieser Schlamm im Sinne der indirekten Methode im Pflanzenversuch mit amorphem und kristallinem Eisenphosphat verglichen. Dies stellte

man fest, dass im sauren Boden der Klärschlamm ähnlich wie amorphes Eisenphosphat wirkte, während er im gekalkten Boden dem Eisenphosphat sogar deutlich überlegen war (Tabelle 3). Es ist zudem ersichtlich, dass kristallines Eisenphosphat gegenüber Klärschlamm sehr stark abfällt. So bestätigt auch diese indirekte Methode, dass die Möglichkeit des Vorkommens derartiger Verbindungen im Klärschlamm praktisch auszuschliessen ist und das Klärschlammphosphat weitgehend austauschbar gebunden ist.

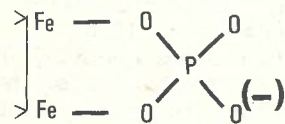
Tabelle 3

Die Wirksamkeit des Phosphats im Klärschlamm (Worblauen) im Vergleich zu Monocalciumphosphat und Eisenphosphaten (Zahl in Klammer = P-Entzug in % der P-Gabe)
Liebefeldboden: 15 % Ton, 20 % Schluff und 3,6 % Humus
Pflanzen: Ital. Raigras (2 Gefässversuche)
(* in Nährlösung)

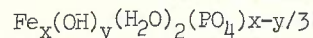
Substrat	Erhebung	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Klärschlamm	Eisenphosphate	
				amorph	kristallin
Quarzsand	Ertrag	100	158	42	0
(pH 5,3*)	P-Entzug	100 (38%)	145	16	3
Liebefeld-	Ertrag	100	95	90	31
boden (pH 5,3)	P-Entzug	100 (32%)	102	81	32
Liebefeld-	Ertrag	100	86	54	9
boden (pH 7,3)	P-Entzug	100 (32%)	76	48	10

Die Ergebnisse der Versuche zur Abklärung der Form von Klärschlammphosphat lassen uns vermuten, dass entsprechend der Ausnutzbarkeit des an Eisen gebundenen Phosphats folgende drei Gruppen zu unterscheiden sind:

- gut ausnutzbar
a. adsorbiertes Phosphat (3)
(an Eisenoxid Oberfläche)
- ziemlich ausnutzbar
a. kristalline Eisenphosphate
(wie Strengit)
- wenig ausnutzbar
okkludierte Phosphate
(eingeschlossen zwischen Eisenoxidschichten)



b. amorphe Fällungsprodukte



3.2 Wirksamkeit von Klärschlammphosphat

Die zur Best. der P-Wirksamkeit von Klärschlamm durchgeführten Pflanzenversuche mit Ital. Raigras als Testpflanze sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die relative prozentuale P-Ausnutzung im gekalkten Boden ist allgemein schlechter als im ungekalkten Boden. Es besteht eine statis-

tisch gesicherte Beziehung ($r = 0,94$) zwischen der prozentualen P-Löslichkeit in Citronensäure und der relativen prozentualen P-Ausnutzung im sauren Liebefeldboden (4).

4. Zusammenfassung

Die Resultate der Fällungsversuche zeigen, dass mit Ausnahme der bei pH 2,5 und einem Ueberschuss an Phosphat erhaltenen Produkte alle übrigen röntgenamorph sind, woraus gefolgert wird, dass unter den in Kläranlagen herrschenden Bedingungen die Möglichkeit zur Bildung kristalliner Eisenphosphate nicht gegeben ist. Ueber die Art der Phosphat-Bindung in den amorphen Eisenphosphaten und damit auch im Klärschlamm geben die Ergebnisse der in der Bodenuntersuchung benutzten fortlaufenden Extraktionsverfahren wertvolle Hinweise. Danach scheint der grösste Teil des Klärschlammphosphats an der Oberfläche von Eisenoxidhydroxiden gebunden zu sein, indem dieses Phosphat, ausgehend von der am schwächsten zu der am stärksten gebundenen Form, gegen Chlorid, Fluorid und Hydroxid ausgetauscht werden kann.

Ein Testschlamm (Worblauen) erreichte im sauren Boden (pH 5,3) die Wirksamkeit von wasserlöslichem Monocalciumphosphat, die im gekalkten Boden (pH 7,3) relativ zum Monocalciumphosphat immer noch bei 80 % lag. Diese gute Düngewirkung von Klärschlammphosphat ist demnach ausschliesslich der Tatsache zuzuschreiben, dass die hier vorkommenden Eisenphosphate amorpher Natur sind und das Phosphat weitgehend austauschbar ist. Aus den bis jetzt vorliegenden Pflanzenversuchen gewinnt man den Eindruck, die Phosphat-Löslichkeit in 2 % Citronensäure sei ein recht gutes Extraktionsmittel zur Abschätzung der Phosphat-Wirksamkeit von Klärschlamm im sauren Boden.

5. Literatur

- Arlidge, E.Z.; Farmer V.C.; Mitchell B.O. and Mitchell W.A. 1963: J.appl. Chem. 13:17
- Furrer, O.J. 1977: Informationstagung "Klärschlamm-Verwertung in der Landwirtschaft", Schweiz. landw. Technikum Zollikofen (24.3.1977).
- Gupta, S.K. 1976: Disseration, Universität Bern.
- Häni, H. und Gupta, S.K. 1978: Schweiz. landw. Forschung 17 (1/2) Im Druck.

Tabelle 1: Plan der durchgeführten Experimente

Versuche	Versuchsbedingungen	Untersuchungen
A. Form von Klärschlammphosphat (3)		
1. Fällungsreaktion: ($\text{FeCl}_3 - \text{H}_2\text{PO}_4$)	Molare P/Fe Verhältnisse: 8, 4, 2, 1, 0,25, 0,125 (Fe konstant: 0,02 M) pH: 2,5, 4, 6, 9 Alterungszeit: frisch, 1 Woche und 6 Monate (25 °C) 3 Monate 40 °C)	In Fällungsprodukten: Röntgen, DTA, Infrarot, Fortlaufende Extraktionsverfahren Im Filtrat: P-Bestimmung
2. Adsorptionsreaktion: ($\gamma - \text{FeOOH} - \text{H}_2\text{PO}_4$)	pH: 3, 4, 6, 9 Kontaktzeit: 15 Min. (25 °C, Ionenstärke = 0,5 M)	Im Filtrat: P-Bestimmung
3. Indirekte Methode: (2 Pflanzenversuche)	Substrat: Liebefeldboden ungekalkt (pH 5,3) und gekalkt (pH 7,3), sowie Quarzsand Pflanzen: Raigras (Ital.) P-Quellen: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, Klärschlamm amorphe und kristalline Eisenphosphate	Ertrag P-Entzug
B. Wirksamkeit von Klärschlammphosphat (4)		
	Substrat: Liebefeldboden ungekalkt (pH 5,3) und gekalkt (pH 7,3) Pflanzen: Ital. Raigras P-Quellen: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ und verschiedene Klärschlämme.	Ertrag P-Entzug Citronensäurelösliches P, Ca und Zn-Gehalt im Klärschlamm

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Elemente P und Fe bei der fortlaufenden Extraktion einiger gut definierter frischer (25°C) Eisenphosphate
100 % = Summe der in den 4 Extraktionsmitteln löslichen-Menge
(* = gebraucht in Pflanzenversuchen, + = AIP und CIP nach Arlidge et. al. 1963 (1))

pH	Probe Nr.	P/Fe Verh.	Extraktionsmittel							
			NH_4Cl		NH_4F		NaOH		H_2SO_4	
			P	Fe	P	Fe	P	Fe	P	Fe
Fällungsprodukte $[\text{FeCl}_3 - \text{H}_2\text{PO}_4]$										
2,5	1	8	7,26	0,02	9,34	2,6	81,8	0,02	1,51	97,3
	4	1	0,17	0,04	2,5	2,7	94,8	0,02	2,4	97,1
	7	0,125	kein Niederschlag							
4,0	8	8	8,5	0,02	16,2	2,1	73,2	0,02	2,0	97,7
	11	1	0,35	0,02	5,5	4,8	91,1	0,02	3,0	95,1
	14	0,125	0,06	0,05	1,32	2,1	77,4	0,01	20,4	94,3
6,0	15	8	16,0	0,02	23,9	3,51	58,8	0,02	1,2	96,1
	18	1	0,19	0,02	4,0	2,72	93,0	0,02	2,68	97,1
	21	0,125	0,01	0,00	1,1	2,28	78,5	0,00	19,97	96,0
9,0	22	8	13,15	0,02	18,9	2,46	66,2	0,02	1,68	97,3
	25	1	1,1	0,02	7,7	2,49	88,3	0,02	2,77	97,3
	28	0,125	0,1	0,01	2,25	3,06	71,6	0,01	25,8	95,8
2,7	AIP*+	0,48	1,1	0,02	17,2	3,2	79,2	0,02	2,3	96,6
	CIP*+	0,48	0,1	0,02	1,01	4,4	95,8	0,02	2,8	95,4
Klärschlamm $[\text{FeCl}_3 - \text{Fällung}]$										
Worblaufen (faul)*			34,6		42,8	3,6			18,6	
Bäretswil (faul)*			1,9		16,3	43,1	43,1		38,7	

Tabelle 4:

Relative prozentuale P-Ausnutzung (% PA) (Monocalciumphosphat = 100 %) verschiedener Klärschlämme (und Aschen) in Abhängigkeit von der prozentualen P-Löslichkeit in Citronensäure auf ungekalktem (pH 5,3) und gekalktem (pH 7,3) Liebefeldboden
Pflanze: It. Raigras

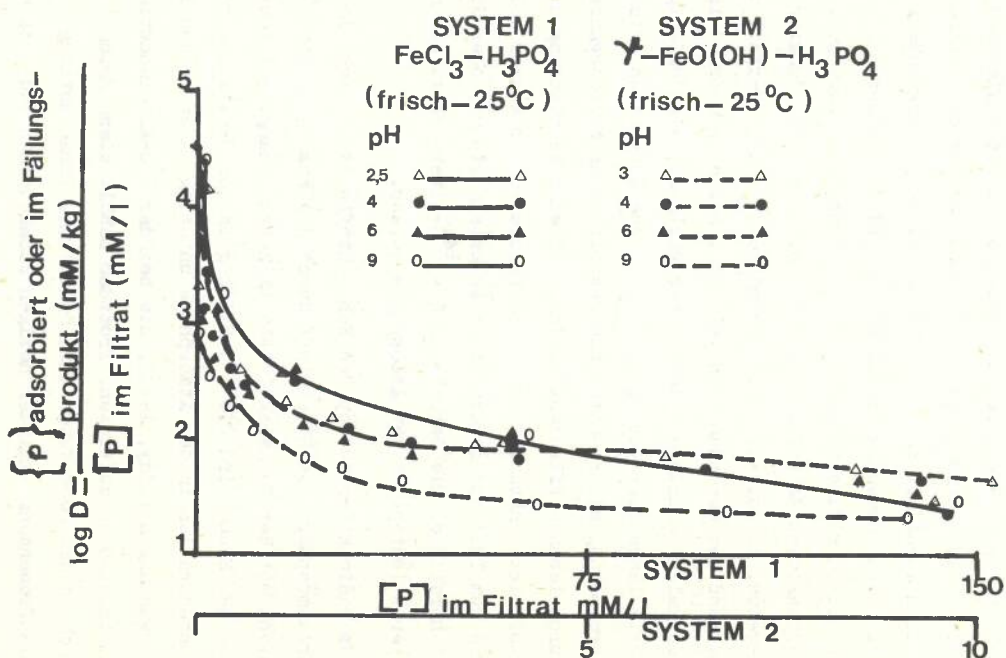
Klärschlamm	Total P (mg/g)	P citr. sre. l. (% P_T)	Boden		Behandlungsart
			5,3 % rel. PA	7,3 % rel. PA	
Asche Lausanne	20,6	15	32	15	
Bäretswil	22,9	26	37	23	Fe-Fällung **
Biel	27,3	40	65	44	ohne chem. Reinigungsstufe **
Asche Zofingen	23,6	50	83	16	
Burgdorf	17,1	70	86	59	ohne chem. Reinigungsstufe **
Langenthal	14,7	80	84	57	ohne chem. Reinigungsstufe **
Aarau	26,2	82	88	77	ohne chem. Reinigungsstufe **
Pfäffikon	49,1	86	92	50	Al-Fällung **
Zofingen *	14,2	91	103	40	ohne chem. Reinigungsstufe **
Worblaufen	18,4	100	93	76	Fe-Fällung (als Nassschlamm verwendet)
Lausanne *	8,2	100	64	55	Fe-Fällung **

* Frischschlamm

** getrocknet Labor 105 °C (Die prozentuale Citronensäurelöslichkeit wurde in den bei 105 °C getrockneten Proben bestimmt)

- 30 -

Fig.1 Verteilungskoeffizient als Funktion von Phosphatkonzentrationen $[P]$ im Filtrat in der Gleichgewichtslösung bei konstantem pH.



- 31 -

ERGEBNISSE UND INTERPRETATION EINIGER ^{14}C -ALTERSBESTIMMUNGEN AN BODENPROBEN

Erwin Frei und Ernst Schütz, Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau
Zürich-Reckenholz

1. Einleitung

Der organische Kohlenstoff des Pflanzenkörpers stammt ausschliesslich aus dem atmosphärischen CO_2 und weist deshalb die gleichen Isotopenanteile auf wie diese. Unterschiedliche ^{14}C -Gehalte der organischen Substanz sind auf verschiedene Ursachen zurückführbar. Der biologische Erneuerungsprozess des Pflanzengewebes bricht ab, sobald die Pflanze stirbt, damit beginnt der Anteil an radioaktivem ^{14}C , kontinuierlich abzunehmen. Die Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls wird mit 5568 oder 5730 (Jenkinson, 1971) Jahren angegeben. Im Holzkörper der Bäume setzt dieser Zerfall des ^{14}C bereits während dem der Baum noch lebt ein. Aus diesem Grund ist der ^{14}C -Gehalt der zentralen Jahrringe eines Baumes geringer, als derjenige des periferen Teils. Zerfallende oder verwesende organische Substanzen erfahren oft eine passive Vermischung mit rezentem Kohlenstoff durch Mikroorganismen und eventuell durch lebende Pflanzenwurzeln. Auch eine Vermischung mit fossilem Kohlenstoff ist denkbar, durch den Einfluss von im Wasser gelöster Kohlensäure, die zum Teil aus mesozoischem Kalkstein stammt, oder durch karbonathaltige Lithorelikte. Die Berechnung des ^{14}C -Alters setzt einen konstanten Gehalt dieses Isotops in der Atmosphäre voraus.

Das radioaktive Isotop des Kohlenstoffs ^{14}C entsteht im oberen Bereich der Erdatmosphäre aus Stickstoff durch die kosmische Strahlung. Diese Strahlung steht mit der Sonnenaktivität im Zusammenhang. Bei sehr starker Aktivität auf der Sonne wird die ^{14}C -Bildung in der Erdatmosphäre gehemmt. Die ^{14}C -Konzentration in der Atmosphäre unterlag daher in den letzten Jahrtausenden Schwankungen (Eddy, 1977), die bei der ^{14}C -Altersbestimmung als Unsicherheitsfaktoren auftreten. Trotzdem behält diese Methode der Altersbestimmung auch in der Bodenkunde ihre Bedeutung. Voraussetzung ist allerdings, dass die Probennahme mit der nötigen Fachkenntnis und Vorsicht erfolgt und dass die Interpretation der Resultate durch zusätzliche Befunde der Pedologie, der Geologie oder auch der Botanik und Klimatologie abgesichert sind.

Seit der Einführung der ^{14}C -Altersbestimmung in der Bodenkunde, im Jahr 1956

2. Material

Das wirkliche Alter eines Bodens deckt sich nur ausnahmsweise mit dem ^{14}C -Alter der organischen Substanz dieses Bodens (Campbell 1967, Gerasimov 1974). Voraussetzung wäre, dass während der ganzen Verweildauer der organischen Substanz kein Kohlenstoffaustausch mit der Atmosphäre erfolgt ist. Diese Voraussetzung ist am ehesten in tief begraben, sterilen, absolut trockenen Schichten erfüllt. Auch im stagnierenden Wasser ist der Gasaustausch und die biologische Veränderung gering. Aus dem ^{14}C -Gehalt stabiler organischer Einmischungen (z.B. Holzkohle) geht die wahrscheinliche Verweildauer des Teilchens hervor, was auf die Zeit der Ablagerung der Schicht schliessen lässt.

Wir führen seit 1976, ^{14}C -Analysen an begraben, humushaltigen Horizonten, die sich ausserhalb der biologischen Bodenaktivität befinden, an Torfproben in sauerstoffarmen Mooren, an Holzkohle, Holzstücken und sekundärem Karbonat durch. Die Proben wurden vom Pedologen entnommen, der zugleich die Bodenprofilaufnahme durchführte, das Motiv für eine ^{14}C -Bestimmung formulierte und die Voraussetzungen für ein zuverlässiges Resultat prüfte.

3. Methode

Obwohl Libby's (1952) Modellvorstellung über Produktionsrate, Verteilung und Austauschzeiten des CO_2 nicht exakt erfüllt ist, lässt sich aufgrund des Modells eine Altersbestimmung von organischem Material vornehmen.

Seit dem Zeitpunkt, da aus irgend einem Grund das betreffende Untersuchungsobjekt aus dem Assimilationsprozess ausschied, verringerte sich der anfängliche ^{14}C -Gehalt infolge des radioaktiven Zerfalls stetig. Man bestimmt also die Menge des ^{14}C , die nach A Jahren noch vorhanden ist. Mit der Beziehung $A = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N}{N_0}$ lässt sich das Alter berechnen.

A = radiometrisches Alter (Jahre vor 1950)

$= \frac{\ln 2}{T} = \text{Zerfallskonstante} = 0,0001244 \text{ y}^{-1}$

T = Halbwertszeit des ^{14}C = 5570 Jahre

N_0 = Zerfallsrate von 1 g C mit der anfänglichen ^{14}C -Konzentration

λ = 95% der Zerfallsrate von 1 g C des Standards (Oxalsäure für die ^{14}C -Datierung)

N = Zerfallsrate von 1 g C nach A Jahren.

Die Konzentration des ^{14}C Isotops in der Biosphäre ist gering. Um die kleinen Aktivitäten der niederenergetischen Betastrahlung zu messen, sind bestimmte Präparationstechniken erforderlich. An unserer Anstalt verwenden wir die von Tamers (1965) beschriebene Methode, mit der wir Alter bis zu 25'000 Jahren vor Heute bestimmen können. Das organische Material wird durch chemische Prozesse in Benzol umgewandelt, in das einerseits der zu bestimmende Radiokohlenstoff eingebaut ist und das andererseits als Lösungsmittel für die Szintillationschemikalien dient.

Durch Behandlungen mit verdünnter Salzsäure um altes Karbonat -C zu entfernen und durch 0,5 N NaOH werden störende Verunreinigungen abgetrennt (Martel 1974, Runge 1973). Durch das Auslesen von Hand oder eine geeignete andere physikalische Trennungsmethode müssen rezente Wurzeln oder tierische Organismen entfernt werden. Wie gut diese Behandlungen die Verunreinigungen eliminieren, kann man nicht mit absoluter Sicherheit feststellen. Die radiometrisch bestimmten Alter von Böden fallen vermutlich im allgemeinen etwas zu jung aus.

4. Ergebnisse

a) Chronosequenz Rohboden-Parabraunerde-Pseudogley

Die Verlagerung der Tone im Bodenprofil der Parabraunerde, kann in einem sehr feinporösen Bodengerüst zur sekundären Pseudovergleyung führen. Die feinen Poren im Illuvialhorizont werden durch Pfropfen aus eingewaschenen Tonen blockiert, so dass die Durchlässigkeit dieses Horizonts vermindert wird. Ein derart verdichteter Tonilluvialhorizont staut das Sickerwasser, so dass periodische Vernässungen im Bodenprofil auftreten. Welche Zeiträume benötigt nun die Bodenentwicklung vom rohen Sediment zur Braunerde mit Tonverlagerung und schliesslich bis zur typischen Marmorierung des Pseudogleys? Diese Frage konnte am Beispiel des Profils TB 177 in Baldingen studiert werden (Frei 1974), da dort fossile, datierbare Schichten mit einem Humusgehalt von 0,7% vorhanden waren. Weir (1971) berichtete ähnliche Ergebnisse aus England.

Die ^{14}C -Bestimmung (Tab. 1) beweist, dass beide Standorte Böden tragen, die sich erst in der Nacheiszeit zu bilden begannen. Da der Löss auf dem relativ hoch gelegenen Plateau von Baldingen in feinerer Körnung und dünnerer Schicht deponiert wurde, ist eine raschere Entkarbonatung und Bodenentwicklung zu vermuten, als auf den 200 m tiefer gelegenen, gröberen

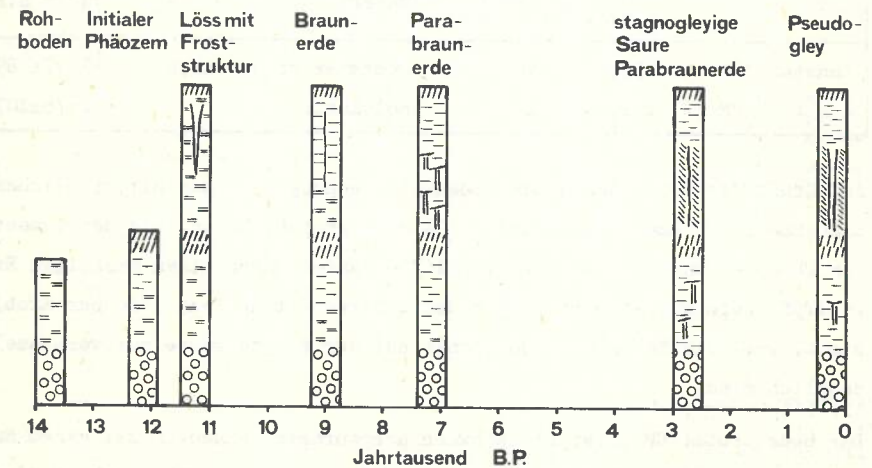
Tabelle 1 ^{14}C -Alter der gesamtorganischen Substanz in Löss

Herkunft	Höhe m ü.M.	Probentiefe cm u.T.	Material	Jahre B.P.
Baldingen TB	575	100 - 110	Ah,fo Horizont begraben unter Pseudogley	11270±400*
Tegerfelden DK 11	370	100	C-Horizont	6139±190
Tegerfelden DK 11	370	1060	karbonathaltiger Löss	9076±284

*Datierung physikalisches Labor Universität Bern, Prof. Oeschger

Der hypothetische Verlauf der Bodenbildung auf dem Lössplateau seit dem Rückzug der Gletscher aus ihrem Maximalstand ins Zürich-Bremgarten-Stadium vor etwa 14'000 Jahren (Hantke 1959) geht aus der Fig. 1 hervor. Danach bildete sich der erste Boden in der spätglazialen Wärmeschwankung, Alleröd etwa 11'000 - 12'000 Jahre B.P.. Die nachfolgende Kaltzeit (Dryas II) begünstigte die Lössausblasung aus dem Aare-Rhein Mündungsgebiet, so dass der junge Boden mit einem Meter Löss bedeckt wurde. Hierauf erfolgte die Entkarbonatung und anschliessend die Tonbildung- und Tonwanderung.

Figur 1 Chronosequenz der Bodenbildung auf Löss (Baldingen TB 177)



SPÄTGLAZIAL		WÄRMESCHWANKUNG				KALTEZEIT	
	Wärmeschwankung					Klimaver-schlechterung	Nachwärmzeit

Für die Entwicklung einer ausgeprägten Parabraunerde aus dem rohen Löss standen wahrscheinlich 5'000 bis 7'000 Jahre der Wärmezeit zur Verfügung. Der sekundäre Pseudogley könnte etwa 3'000 Jahre alt sein, da er sich vermutlich im älteren Subatlantikum, infolge des humideren und kühleren Klimas auf der wenig durchlässigen Parabraunerde einstellte.

b) Alter von Phaeozemböden in den Zentralalpentälern

Der Phaeozem benötigt zu seiner Entwicklung ein temperiertes und eher kontinentales Klima. Diese Klimabedingungen sind in den Zentralalpentälern gegeben. Allgemein herrscht die Meinung, dass sich die Gletscher sehr rasch aus den Alpentälern zurückzogen, nachdem sich die Wärmezeit durchsetzte. Aus diesem Grund wird das Bodenalter in den Alpentälern ähnlich beurteilt wie im alpennahen Mittelland (Furrer 1972, Protmann 1977). Trotz dieser allgemeinen Feststellung trifft man im Alpenraum nicht oft ausgeprägte Bodenprofile an. Der Grund dafür ist in der grossen Wirkung der Hangenergie zu suchen. Die Wirkung des Reliefs als Bodenbildungsfaktor stört die normale Chronosequenz. Unsere Forschungen über das Alter von Phaeozemen beschränkte sich auf einen einzigen Standort (Tab. 2).

Tabelle 2 ¹⁴C-Datierungen am Phaeozem, Münstertal

Ort	Höhe m ü.M.	Probentiefe cm u.T.	Material	Jahre B.P.
Münstair UM 6	1315	110	gesamter Boden, Ah,b	1797± 89
Münstair UM 6	1315	130	Holzkohle	1978±107

Auf Grund der morphologischen Bodenuntersuchung kann man mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass der in 100 cm begrabene Boden, wie der rezente ein Phaeozem war. Er ist etwa vor 1'700 Jahren durch einen mächtigen Erdschlipf überschüttet worden. Vor der Ueberschüttung fand offenbar Erosion statt, weil die begrabenen Horizonte auf der Hangterrasse nur vereinzelt deutlich sind.

Das Bodenprofil UM 6 ist ein schwach ausgeprägter Phaeozem mit einem Mullhorizont von 30 cm Mächtigkeit und 5 - 8% organischer Substanz auf einem schwach humosen, etwas verbräunten, neutralen Zwischenhorizont, der bis auf 100 cm u.T. reicht. Der Schritt von Lockergesteins-Rohboden zum schwach ausgeprägten Phaeozem dürfte demnach in 1'000 bis 2'000 Jahren möglich sein.

c) Zeiten bedeutender Terrainschüttungen

Grössere Terrainschüttungen sind im Alpenraum und im Mittelland verbreitet; Bestimmungen des ¹⁴C-Alters ergaben eine auffallende Parallelität mit humiden Kaltphasen, wie sie von verschiedenen Autoren postuliert wurden (Bièler 1976, Portmann 1977, Furrer 1972). In unserem Land mit seinem vieltaligen Relief und den grossen potentiellen Hangenergien ist es leicht möglich, dass regenreiche Perioden verbreitet Hangrutschungen auslösen können. Da die in Figur 2 aufgeführten Datierungen im unterliegenden Boden erfolgten, ist die Ueberschüttungszeit jeweils jünger als das ¹⁴C-Alter angibt. Die Zuordnung unserer Daten zu den humiden Perioden ist deshalb nur annähernd möglich.

Figur 2 Das Alter begrabener Bodenbildungen im Vergleich zur Klima-chronologie nach Fribas 1949, Furrer 1972, Bièler 1976.

Jahr- tausend B.P.	Paläo-Böden			Chronologie	
	¹⁴ C Alter	Ort	Art	Fribas (1949)	Nasse Kaltzeiten
0					
1	800± 44	Murmoos AG	Torfunterlage		
	1'203±138	Deisswil BE	Holzkohle		
	1'406± 90	Merenschwand AG	Torfunterlage		
2	1'978±107	Müstair GR	Holzkohle	Sub- atlantikum	trocken
	2'148±181	Vendlincourt BE	Holzkohle		
3	2'798± 65	Merzlingen BE	Torfunterlage		
4				Sub- boreal	warm trocken
5	5'134± 72	Benken ZH	Holz		
6	5'786±108	Gampelen BE	Torfunterlage		
	6'536±155	Gingins VD	Holzkohle	Atlantikum	
7	7'407±106	Rapperswil BE	Torfunterlage		
8					
9				Boreal	warm trocken
10					
11				j.Dryas- zeit	
12	11'270±400	Baldingen AG	Löss über Phaeozem	Alleröd	warm trocken
13				ältere Dryaszeit	
14					

d) Chronologie der Torfbildung

Der Aufwuchs von Torfmooren erfolgte unter bestimmten klimatischen (Klimaschwankungen) und topographischen (Störungen im Wasserabfluss) Verhältnissen. Der Torfaufwuchs war in der Vergangenheit nicht kontinuierlich. Die Höhe des Grundwasserstandes und die Seespiegellhöhen sind wahrscheinlich die wichtigsten Faktoren für den Beginn und den Abschluss der Torfbildung. Das ^{14}C -Alter einiger Torfproben des Mittellandes ist aus der Figur 3 ersichtlich. Die ungefähre Geschwindigkeit des Torfaufwuchses ergibt sich aus dem Altersunterschied der Torfschichten im Profil.

Figur 3 ^{14}C -Alter einiger Torfmoore

Jahrtausend B.P.	^{14}C Alter	Ort	Torfaufwuchs cm/100 Jahre
0			
1	1'406± 90 1'942± 75	Mi 84 Merenschwand AG Mi 29 Merenschwand AG	
2	2'436± 85	Mi 29 Merenschwand AG	11,1
3	3'094± 73 3'169± 74	Mi 21 Aristau AG UR 78 Altstätten SG	
4	4'062± 76	UR 78 Altstätten SG	16,7
5	4'831± 98 5'026±150 5'284±104	Bb 6 Buchholterberg BE UT 12 Limpach BE Jn 461 Witzwil BE	
6	5'498± 83	Mi 21 Aristau AG	2,9
7	6'948±130	Jn 461 Witzwil BE	3,0
8	8'092±117	UT 12 Limpach BE	2,1
9			
10			

Die Torfbildung in den grossen topographischen Mulden des Mittellandes setzte erst etwa um das Jahr 8'000 B.P. ein. Ein ähnlicher Zeitpunkt wird von Overbeck (1957) für den Mooraufwuchs im nordwestdeutschen Flachland und von Ruhe (1969) für die USA angegeben. Seit dieser Zeit bildeten sich durchgehend bis etwa 1'000 Jahre B.P. Torfe. Die Aufwuchsgeschwindigkeit

war jedoch variabel und nicht bei allem Mooren gleich. Die Moore im Berner Seeland stellten ihr Wachstum, wie es scheint, schon etwa 5'000 Jahre B.P. ein, während das Rheintalmoor bei Altstätten erst anschliessend zur vollen Entwicklung gelangte und der Reusstaltorf scheint noch jünger zu sein. Die Vermoorung im heute fast ganz abgetorften Murimoos AG, hatte offenbar seit dem Atlantikum ununterbrochen angedauert. Wie aus anderen Torfdatierungen (Oeschger 1977) bekannt ist, existieren in der Schweiz jedoch auch ältere Torfmoore.

5. Diskussion der Ergebnisse

Der ^{14}C -Gehalt von begrabenen humosen Mineralerden kann durch jüngere biologische und bodengenetische Vorgänge beeinflusst werden, die Altersbestimmung kann deshalb problematisch sein. Auch die zeitraubende physikalische und chemische Fraktionierung der organischen Substanz führt in manchen Fällen nicht zum Ziel.

Der laugenunlösliche organische Rückstand des Torfs (Tab. 3) erwies sich im Wurzelbereich als von modernen Wurzelfasern herkommend, im sterilen Torf zeigen beide Fraktionen das gleiche, wahrscheinlich nahezu wirkliche Alter der organischen Substanz an.

Tabelle 3 Einfluss von nicht humifiziertem organischem Material auf die ^{14}C -Altersbestimmung, Torf Murimoos AG

F R A K T I O N E N	Jahre B.P.	
	Torf im unteren Wurzelbereich 120 cm u.T.	Steriler Torf, dauernd im Grundwasser 240 cm u.T.
gesamt organische Substanz	808 ± 44	5498 ± 83
laugenunlöslich, gereinigter organischer Rückstand	"modern"	5469 ± 62

Wandernde Huminsäuren aus dem Obergrund können tiefer gelegene Horizonte in ihrem ^{14}C -Gehalt verändern. In diesem Fall kann jedoch die Abtrennung dieser Huminsäuren die Altersbestimmung ermöglichen (Tab. 4).

Tabelle 4 Huminsäureverlagerung in einem Andosol Mt. Kenya

F R A K T I O N E N	Ah, b-Horizont 200 cm u.T. ^{14}C -Alter Jahre B.P.
Huminsäuren, laugenlöslich, säurefällbar	"modern"
Humine, laugenunlöslich gereinigter Rückstand	9426 ± 91

Eingemischte primäre Karbonate (Lithorelikte) könnten das ¹⁴C-Alter verfälschen. Die Probe muss im Labor von diesem fossilen C-Anteil getrennt werden. Sekundäre Karbonate lassen sich jedoch zur Altersbestimmung heranziehen, da während der Kalktuffbildung ein Austausch mit der Kohlen-säure der Atmosphäre erfolgte (Tab. 5).

Tabelle 5 ¹⁴C-Alter von sekundärem Karbonat, Chésérax

F R A K T I O N E N	Kalktuffhorizont in 100 cm u.T.	
	¹⁴ C-Alter	Jahre B.P.
reiner Kalktuff	7583 ± 117	
Holzkohle, eingemischt in den Kalktuff	6776 ± 97	

Trotz zahlreicher Vorbehalte erwies sich die ¹⁴C-Bestimmung bei Problemen der Bodenentwicklungszeit, beim Studium von Chronosequenzen und Palaeosolen als eine wertvolle Methode. Insbesondere konnten Veränderungen klimatischer und topographischer Bodenbildungsfaktoren während des Holocäns an Bodenprofilen erkannt werden.

Résumé

Le contenu en ¹⁴C de la matière organique du sol peut, sous certaines circonstances, être employé pour la détermination de l'âge du sol. Celui-ci présente un intérêt pour les paléosols et pour l'étude de chronoséquences en pédogenèse. Le taux en ¹⁴C ne donne qu'exceptionnellement l'âge vrai de la matière organique. La détermination de l'âge peut être fortement influencée par la présence, sous une forme quelconque, de substance organique moderne.

Grâce aux mesures du ¹⁴C des inclusions organiques dans le loess, on a pu étudier l'évolution pédogénétique d'un sol brut à un pseudogley en passant par un sol brun lessivé. Il s'est révélé que 5'000 ans ont été nécessaires pour le développement d'un sol brun lessivé sur loess; et 3'000 ans pour un pseudogley bien marqué. L'âge d'un phaeozem du Val Mustair est au plus de 1'500 ans, petite valeur qui éclaire le faible développement de ce profil. Les échantillons de tourbe du Moyen-Pays suisse que nous avons datés sont tous plus jeunes que 8'000 ans. La tourbe s'est formée à plusieurs époques et nous avons souvent remarqué un arrêt assez brusque dans son développement. Nous n'avons trouvé aucun signe de formation de tourbe dans les 1'000 dernières années. Les périodes climatiques fraîches et humides au Holocène semblent d'après nos recherches liées à des phénomènes de solifluxion et de glissement de terrain.

Literatur

- Bièler, P.-F., 1976. Etude paléoclimatique de la fin de la période quaternaire dans le bassin lémanique. Archives des sciences, Genève, 5-53.
- Cambell, C.A., Paul, E.A., Rennie, D.A. and McCallum, K.J., 1967. Applicability of the carbon-dating method of analyses to soil humus studies. Soil Sci., Vol. 104, No 3.
- Eddy, J.A., 1977. Climatic Change I. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht Holland.
- Furrer, G. und Bachmann, F., 1972. Solifluktsionsdecken im schweizerischen Hochgebirge als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung. Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd. 13, 163-172.
- Frei, E., 1973. Mikromorphologie eines polygenetischen Luvisols im schweizerischen Mittelland. Soil Microscopy, Kingston Ontario, 542-552.
- Gerasimov, I.P., 1964. The age of recent soils. Geoderma, Vol.12, Nr. 1/2.
- Jenkinson, D.S., 1970. Studies on the decomposition of ¹⁴C labelled organic matter in soil. Soil Sci., Vol. 111, No 1, 64-70.
- Libby, W.F., 1952. Radiocarbon Dating, University of Chicago Press.
- Martel, Y.A. and Paul E.A., 1974. The use of radiocarbon dating of organic matter in the study of soil genesis. Proc.Soil Sci.Soc.Am., Vol.38, No 3, 501.
- Oeschger, H., 1977. Liste der Schweizer ¹⁴C-Daten I. ¹⁴C-Labor des physikl. Instituts der Universität Bern.
- Overbeck, F., 1957/58. Erläuterung zur Tafel "Entwicklung eines Hochmoores in Niedersachsen". Neues Archiv für Niedersachsen 9 (5), 400-401.
- Ruhe, R.V., 1969. Principles for dating pedogenic events in the quaternary. Soil.Sci., Vol. 107, No 6, 398-402.
- Runge, E.C.A., Goh, K.M. and Rafter, T.A., 1973. Radiocarbon chronology and problems in its interpretation for quaternary loess deposits south Canterbury. Proc.Soil Sci. Soc. Am. Vol. 37, No 5, 742-746.
- Portmann, J.P., 1977. Variations glaciaires, historiques et préhistoriques dans les Alpes suisses. Des Alpes, Revue du Club Alpin Suisse.
- Scharpenseel, H.W. and Schiffmann, H., 1977. Radiocarbon dating of soils, a review. Z.Pflanzenernähr. Bodenk. 140, 159-174.
- Scharpenseel, H.W., 1972. Messung der natürlichen ¹⁴C-Konzentration in der organischen Substanz von rezenten Böden, Eine Zwischenbilanz. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., Band 133, Heft 3, 241-263.
- Tames, M.A., 1965. Routine carbon-14 dating using liquid scintillation techniques, Acta Cientif. Venezolana 16 (5), 156-162.
- Weir, A.H., Catt, J.A. and Madget, P.A., 1971. Postglacial soil formation in the loess of Pegwell Bay, Kent (England). Geoderma 5, 131-149.

VERÄNDERUNGEN IN VEGETATION UND BODEN AUF GRUND DER BRACHLEGUNG VON KULTURLAND

U. Gisi und J.J. Oertli,
Botanisches Institut der Universität Basel

Auf das Brachlandproblem in der Schweiz wird erstmals von SURBER et al. 1973 ausführlich hingewiesen. Dabei wird der ursprünglich aus der Zeit der Dreifelder-Wirtschaft stammende Begriff "Brache" neu umschrieben als ein aus meist wirtschaftlichen und sozialen Gründen "nicht mehr genutztes landwirtschaftliches Areal", das, sich selbst überlassen, innert wenigen Jahrzehnten dem ursprünglichen Klimaxstadium zustrebt. Im folgenden wird die Definition von SURBER et al. übernommen, obwohl eine präzisere Begriffsfassung wünschenswert wäre. Dem heutigen Stand an Brachland in der Schweiz von ca. 80'000 ha (5 % des Kulturlandes) steht eine Schätzung auf das Jahr 2000 von ca. 180'000 ha (15 % des Kulturlandes) gegenüber. Dies entspricht einem Zunahmefaktor von 12 für den Jura und einem solchen von ca. 2 für den Alpenraum, wo die Bedeutung des Brachlandproblems bereits sehr ausgeprägt ist. Demgegenüber stellt man im Jura in den letzten 5 Jahren bereits wieder eine rückläufige Tendenz fest. Sowohl die hier untersuchten Fettwiesen (Glatthaferwiesen, regelmässig gedüngte und geschnittene Wiesen), wie die sog. Magerwiesen (Trespen-Trockenrasen, schwach bis ungedüngt, einmaliger Schnitt jährlich) sind ökologisch relativ instabile Systeme: Sobald jegliche Pflegemassnahme unterbleibt setzt in der montanen Stufe eine typische und gerichtete Entwicklung ein, die über verschiedene Brachestadien mit Kraut-, Stauden- und Strauchphase schliesslich zum geschlossenen Wald als Dauerstadium hinführt. Somit ist in Brachland ein interessantes Beispiel zum Studium natürlicher Sukzessionen gegeben.

In einem ersten Arbeitsschritt geht es darum, möglichst viele vergleichbare Standorte im Jura in ähnlicher Höhenlage (zwischen 500 und 850 m ü.M.) und gleicher Exposition (Nordhänge) zu finden und daran Parameter zu messen, die Brachland von Fett- und Magerwiesen immer gleichartig unterscheiden. Neben den pflanzensoziologischen Untersuchungen (Arbeitsgruppe KIENZLE/ZOLLER) wurden vor allem mikroklimatische, bodenphysikalische, bodenchemische und mikrobiologische Studien, ergänzt durch Produktionsbestimmungen, durchgeführt. Daneben sind Experimente über Stickstoff- und Nährstoff-Haushalt im Gange (FROSSARD/HARTMANN/OERTLI).

Stoffproduktion und Mikroklima

Als erste Folge der Brachlegung ergibt sich eine völlig neue Artengarnitur: Wichtige Futterpflanzen wie Kleearten, Glatthafer, Habermark und andere werden verdrängt von Zwenke (*Brachypodium pinnatum*), Kratzdistel und Kreuzkraut, um nur einige wichtige Vertreter zu nennen. Ebenso auffallend ist eine zeitlich verschobene und quantitativ andere Stoffproduktion in Fettwiese und Brache: Das Produktionsmaximum liegt in der Fettwiese rund einen Monat früher, und ergibt zu diesem Zeitpunkt rund 500 g (TG) Lebendmaterial pro m² gegenüber ca. 300 g in der Brache. Eine umgekehrt gerichtete Tendenz finden wir für die unterirdische Biomasse (Tab. 1), die in der Brache um einen Faktor von ca. 2 höher liegt als in der Wiese.

Tabelle 1: Biomasse an unterirdischem Material (> 63 µ) in g (TG)/dm³

	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	total
Brache	49	25	10	84
Fettwiese	27	15	6	48

Setzen wir ober- und unterirdische Biomasse in Relation zueinander (Tab. 2), so ergibt sich ein überraschend hoher Anteil an unterirdischem Material, was einerseits sicher Methoden abhängig ist, andererseits aber sehr deutlich die Situation von Grenzertragsböden aufzeigt. Zudem verschiebt sich das Verhältnis von ober- zu unterirdischer Biomasse von 1:3 (Wiese) zu 1:6 (Brache).

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung von ober- und unterirdischer Biomasse

	oberirdisch	Streu	unterirdisch
Brache	10	5	85
Fettwiese	24	-	76

Die unterschiedliche Bestandesdichte und verschiedene vertikale Verteilung des Pflanzenmaterials in Fettwiese und Brache bedeuten auch Änderungen im Mikroklima: Eine stärkere Lichtabsorption in den oberen Schichten der Brache hat zur Folge, dass nur etwa 3 % des einfallenden Lichts auf die Bodenoberfläche gelangen, während es in der Wiese noch 160 % sind. Einem Albedo von 37 % in der Brache steht ein solcher von 43 % in der Wiese gegenüber. Die bodennahen Luftschichten sind in der Brache deutlich feuchter und kühler (Abb. 1) als in der Wiese. Alle klimatischen Störungen des Systems laufen in der Brache verzögert und gedämpfter ab.

Bodenphysik

Zweifelloos auf Grund der stärkeren Durchwurzelung des Brachebodens wird dieser lockerer, was sich in einer kleineren scheinbaren Dichte niederschlägt (Abb. 2). Ein Dichteunterschied ist bis mind. 15 cm Bodentiefe noch deutlich nachweisbar (Abb. 2 und 4), was auch aus Tab. 1 für die unterirdische Biomasse abzulesen ist. In Textur und reeller Dichte sind hingegen die Unterschiede zu vernachlässigen, was eine optimale Vergleichbarkeit zwischen Fettwiesen und Brache einerseits und zwischen den verschiedenen Standorten andererseits gewährleistet. Da das Porenvolumen mit der scheinbaren Dichte direkt verknüpft ist (lineare Regression, $r = -0.987$), bedeutet eine kleinere Dichte der Brache gleichzeitig ein grösseres Porenvolumen, verglichen mit der Wiese (Abb. 4). Auf Grund von Desorptionskurven und dem Quotienten $H_2O\%v/PV\%$ muss ein Unterschied in der Porosität hauptsächlich in der Region der Grob- und Gröbstporen angenommen werden. Auf Gewichtsbasis ergibt sich eine von der Streu bis mind. 25 cm Bodentiefe reichende deutliche Steigerung des Wassergehaltes in der Brache (Abb. 3 und 4).

Bodenchemie

Eine sehr typische Veränderung erfährt der Bracheboden in Bezug auf den Säuregrad: Während Fettwiesen im ganzen Profil einen pH zwischen 6.0 und 6.5 aufweisen, sind Magerwiesen bis ca. 15 cm Bodentiefe leicht, Brachen bis ca. 40 cm stark angesäuert (Tab. 3).

Tabelle 3: pH - und C / N - Profile

Horizont cm	Brachen pH C/N	Magerwiesen pH C/N	Fettwiesen pH C/N	Populus-Wald pH C/N
0	5.0	5.0	6.0	
1	4.8	5.3	6.1	6.5
3	4.8 15.1	5.4 13.5	6.1 11.5	5.6 14.0
6	5.0	5.5	6.0	
10	5.2 12.8	5.8 10.6	5.9 10.0	5.6 12.7
15	5.3 11.9	5.8 9.7	6.0 9.2	5.6 11.4
20	5.4 10.8	6.0 8.8	6.3 8.7	5.2 12.0
30	5.6	6.1	6.5	5.3
40	6.4 10.5		6.6	5.9 5.0
60	6.8 9.0	6.5	6.7	

Das Wegfallen jeglicher Düngung, die höhere Porosität des Bodens und das Fehlen von wichtigen Stickstoff fixierenden Leguminosen in der Brache dürften die Haupt-

gründe für einen kleineren Gehalt an totalem Stickstoff pro Volumeneinheit sein: In den obersten 20 cm Boden stehen $0,6 \text{ kg/m}^2$ in der Brache $0,8 \text{ kg/m}^2$ in der Fettwiese gegenüber. Weniger einheitlich präsentiert sich die Situation mit dem organischen Kohlenstoff: Obwohl auch hier eine kleinere Menge von $7,1 \text{ kg/m}^2$ in Brachen eine grössere von $8,4 \text{ kg/m}^2$ in Fettwiesen vorhanden sind, gibt es Standorte, bei denen das Verhältnis umgekehrt ist. Vom Gesichtspunkt der grösseren Biomasse an unterirdischem Material (Tab. 1) und dem bedeutenden Streuanfall (Tab. 2) würde man an sich eine Akkumulation an org. C in der Brache erwarten. Sehr typisch ist hingegen die Gegenüberstellung des C/N-Verhältnisses (Tab. 3), das von Brache zu Magerwiese zu Fettwiese immer günstiger wird. Ähnlich wie beim pH ist auch beim C/N-Verhältnis eine Beeinflussung durch die Brachlegung bis mindestens 40-60 cm Bodentiefe spürbar.

Mikrobiologie

Die Unterschiede in pH, C/N-Verhältnis, Streuzusammensetzung, etc. zwischen Brache und Wiese manifestieren sich auch in der Zusammensetzung der Mikroflora: Je nach Horizont weist der Bracheboden 2 bis 100 Mal weniger Bakterien pro Gramm auf, für die Streu ebenfalls weniger Pilze (Hefen: 100 Mal, Fadenpilze: 5 bis 10 Mal), verglichen mit der Variante Fettwiese. Im Bracheboden dominieren hingegen eindeutig die Hefepilze um einen Faktor 2 bis 16 und mindestens zwischen 5 und 15 cm Bodentiefe auch die ausplattierbaren Fadenpilze (2 bis 5 Mal). Die Anzahl an Regenwürmern pro m^3 Boden unterscheidet sich kaum, hingegen ist deren Biomasse (FG) in der Brache 56 g, in der Fettwiese nur 41 g. Untersucht man die Anzahl an Mikroorganismen in der Wurzelnahe einer Pflanzenart (zB *Dactylis glomerata*) und in wurzelarmem Boden, so resultiert ein typisches Verhältnis, der Rhizosphärenfaktor. Während dieser Faktor für Bakterien in Wiese und Brache im allgemeinen ca. 1 ist, wird er für Hefen- und Fadenpilze meist nur in der Brache bis zu Werten von 5 erhöht. Von den aus Streu der Brache resp. Wiese isolierten Bakterien besitzen 40 % resp. 80 % proteolytische, 70 % resp. 40 % zellulolytische und 0 % resp. 20 % chitinolytische Enzyme. In den obersten 5 cm Boden verschieben sich die Häufigkeiten vor allem der Proteolyten und Chitinolyten zu Gunsten der Brache.

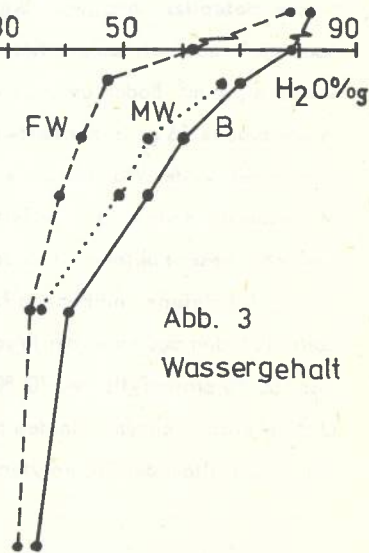
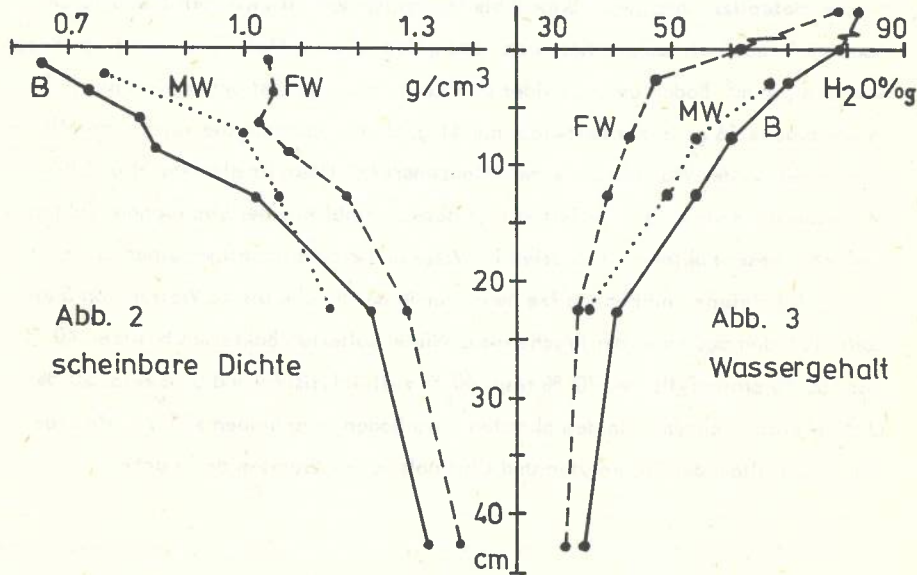
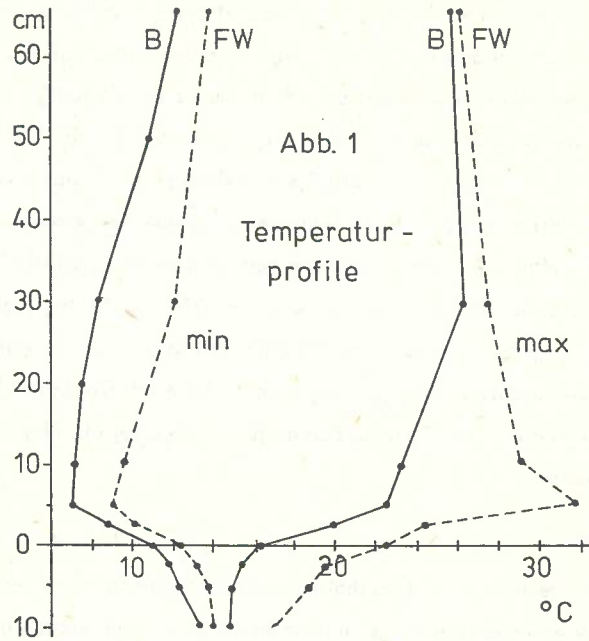
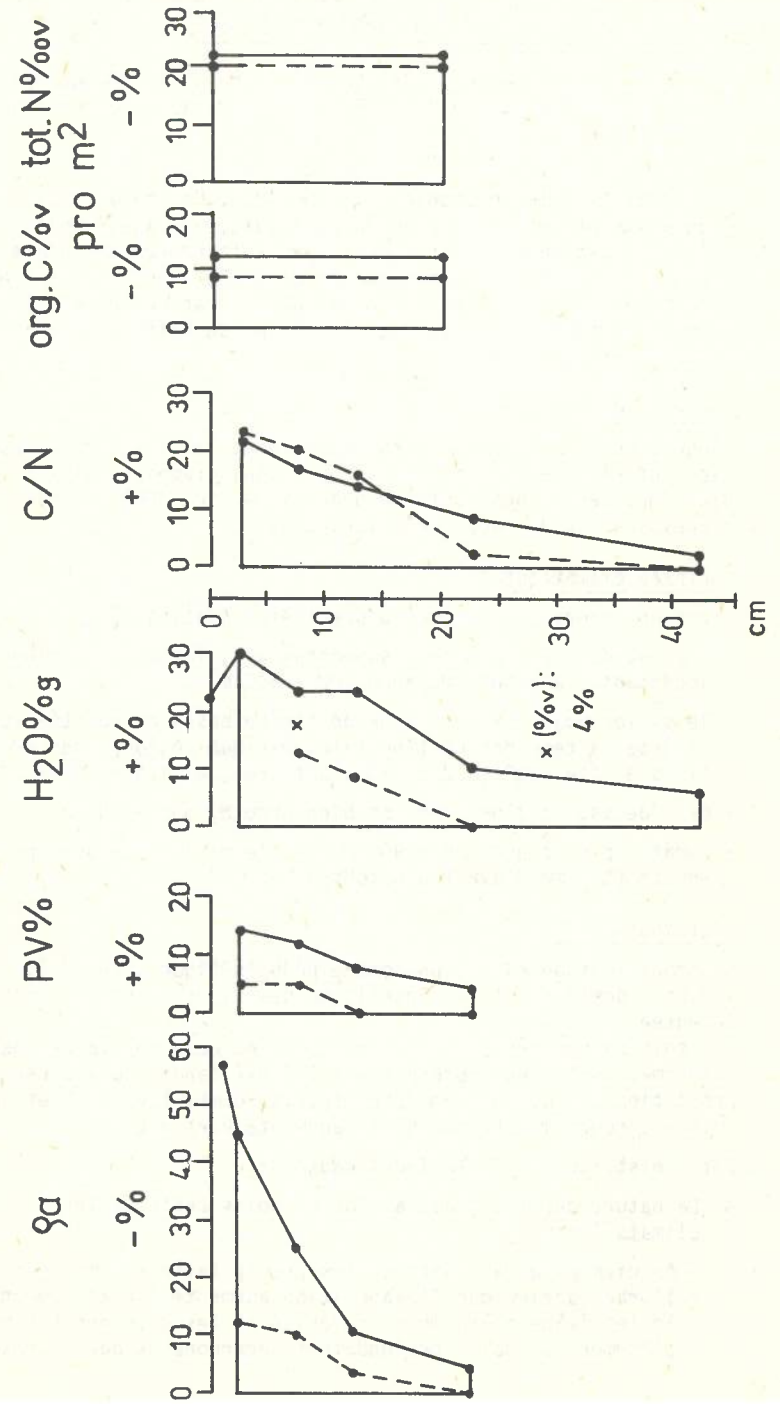


Abb. 4: Relative Unterschiede B - FW und B - MW in % (B=100%)



PRESENTATION DE TROIS FEUILLES DU LEVER PEDOLOGIQUE 1 / 25 000
DU CANTON DE VAUD

Michel GRATIER - Service de l'aménagement du territoire, Département des travaux publics, Lausanne

Les trois feuilles présentées : Orbe 1202, Cossonay 1222, Echallens 1223 couvrent depuis le pied du Jura jusqu'au massif molassique du Jorat à l'Est. Pour des raisons liées à l'urgence des plans d'aménagement, les zones de montagne et les forêts n'ont pas été cartographiées mais elles ont fait l'objet d'observations ponctuelles plus ou moins détaillées ainsi que d'analyses de référence permettant des comparaisons.

1) Contexte géologique :

D'Ouest en Est on traverse successivement les calcaires durs du crétacé inférieur et les molasses des étages stampien, aquitain, Burdigalien. Ces roches sont recouvertes par des dépôts morainiques d'épaisseur et de faces très variables.

2) Contexte climatique :

Plusieurs zones climatiques peuvent être distinguées :

- l'adret du pied du Jura : submontagnard, forte insolation et ETP importante, altitude moyenne 600 - 800 m.
- le sillon subjurassien : zone de plaine basse et abritée (plaine de l'Orbe) à tendance continentale, minimum régional des précipitations en été (600 mm d'avril à octobre), altitude 450 - 500 m.
- Gros de Vaud : plus frais et bien arrosé, 550 - 700 m
- Jorat : plus élevé 700 - 900 m avec le maximum de précipitations en été (800 mm d'avril à octobre).

3) Distribution des sols :

La brunification est le phénomène pédogénétique principal, les cambisols dominent et la répartition des types de sol est nettement orientée :

Les sols carbonatés (calcaric regosols et cambisols) à drainage rapide ou normal sont bien représentés à l'Ouest tandis qu'inversement la proportion de sols hygromorphes (gleyic cambisols) et acides (dystric regosols et cambisols) augmente vers l'Est.

Cette distribution a plusieurs causes :

- A) La nature des substrats a plus ou moins renforcé les tendances des climats locaux :
 - Au pied du Jura, soit que les précipitations diminuent (Plaine de l'Orbe ou bien que l'évaporation augmente (adret submontagnard) le lessivage a été moins favorisé et les sols ont été moins complètement et moins profondément décarbonatés dans l'ensemble.

- En direction du Jorat la proportion des faciès molassiques gréseux (et des dépôts qui en dérivent) s'accroît en même temps que l'altitude et que la somme des précipitations. Sur matériau sableux les sols sont acides et sur matériau limoneux ils sont hydromorphes.

- B) Une bonne partie des sols carbonatés est d'origine secondaire et résulte de la troncature par érosion des profils cultivés, tandis que sous bois les sols analogues sont généralement décarbonatés au moins en surface

4) Problèmes cartographiques :

- A) La structure lenticulaire des roches-mères (molasses et dépôts morainiques) induit de fréquentes variations texturales sur de courtes distances.
Ce manque d'homogénéité empêche de dresser des bilans granulométriques.
- B) Difficulté à définir la roche-mère du sol :
 - 1) pour déterminer la nature du dépôt;
 - On observe tous les degrés de mélange entre molasse et moraine
 - On trouve des faciès de transition entre glaciaire et fluvio-glaciaire
 - Il y a passage graduel des colluvions aux alluvions.
 - 2) à cause des discontinuités entre sol et substrat;
 - le sol se développe souvent soit dans un matériau supérieur différent du substrat (couche de moraine sur la molasse, couche de moraine superficielle sur moraine de fond), la couverture morainique atténuant l'influence molassique - fig.2.
 - soit dans une tranche remaniée au tardi- et postglaciaire sans rapport étroit avec le substrat immédiat (limon de remaniement).
- C) La relation type de sol topographie est variable dans la même région;
 - à une même topographie peuvent correspondre plusieurs types de substrats sur lesquels les sols peuvent être analogues ou bien + différents.
Par exemple : les collines morainiques peuvent se présenter avec ou sans noyau molassique, certaines sont même constituées de fluvioglaciaire recouvert d'un manteau de moraine de fond.
 - Autre exemple : dans une zone à très faible relief les différences de texture au sein du manteau de moraine ont engendré des sols d'épaisseur variable parfois de type différent impossibles à délimiter sur une carte à cause de leur manque d'extension mais leur fréquence oblige à considérer les unités comme complexes. - fig.3.

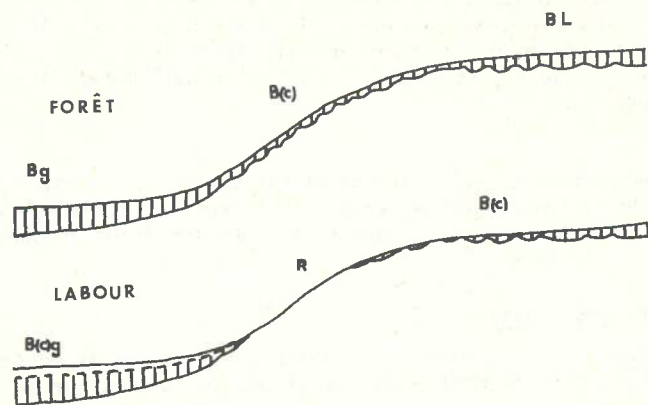
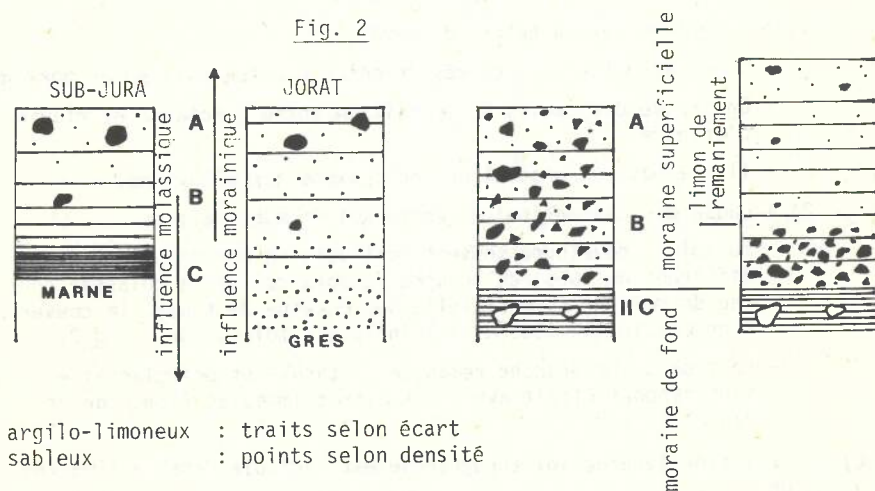


Figure 1 : séquences analogues de sols sous-bois et labouré

Fig. 2



argilo-limoneux : traits selon écart
sableux : points selon densité

Fig. 3



Pour légende des symboles, cf D N.4.

- D) La grande variabilité des caractéristiques du sol pose des problèmes de représentation cartographique. Ces problèmes persistent quelle que soit l'échelle car des types de sols très différents peuvent parfois être voisins de quelques mètres.

Commentaire d'un exemple cartographique 1:25'000 - extrait de la feuille 1222.

N.1 Topographie et densité des sondages tarière (points)

N.2 Unités du paysage : $\bigcirc$ colline $\diagup$ vallon $\diagdown$ talus
+ point élevé

- Photo aérienne : N = non visible $\blacksquare$ plus foncé $\square$ plus clair

Les unités du paysage ont été établies d'après le terrain puis comparées aux photos aériennes. Sur la photo ressortent :

- 1) les unités qui ont un fort relief
- 2) celles qui sont soulignées par une mise en valeur particulière
- 3) celles qui présentent des contrastes clair-sombre

- Dans cet exemple les reliefs sont modérés et en pente continue, aussi ils ressortent mal ou pas du tout en photo aérienne, (sauf les prés-vergers en pente), cependant ils déterminent les types de sols.

- Les contrastes sont d'interprétation ambiguë, une zone plus claire peut correspondre à des phénomènes inverses pour la compréhension du sol : érosion dans un cas, hydromorphie dans l'autre. Ces contrastes sont liés au type de culture et à l'époque des prises de vues; ils ne sont finalement interprétable que par référence à un étalon de la "vérité-terrain".

N.3 Roches-mères et substrats :

M molasse Y mélange moraino-molassique G moraine
G₂ moraine graveleuse
Q limon de remaniement V colluvions

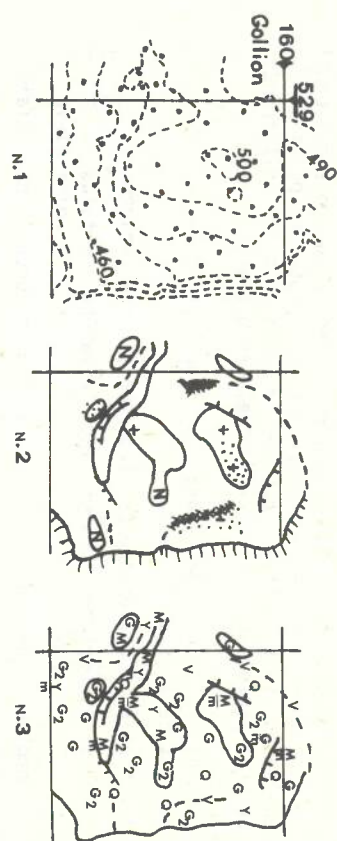
M molasse affleurante m molasse entre 40 et 80 cm

Le substrat n'est pas forcément la roche mère et les collines sont souvent de nature composite : molassique à un endroit, morainique à l'autre bout.

N.4 Types de sols :

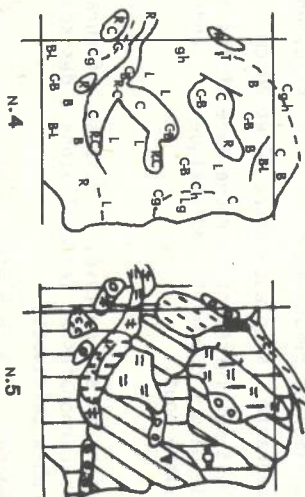
Dans cette région, en sol cultivé, la molasse affleurante est liée à des sols carbonatés et les colluvions à des sols plus ou moins hydromorphes calcaïques.

R calcaric regosol h humic
C calcaric cambisol T histic
B cambisol g pseudogley
L luvisol
types d'intergrades : R-C, C-B, B-L



N.5 Carte des sols :

- ±± Soils carbonatés d'érosion sur molasse affleurante par places
- ooo " " sur moraine graveleuse
- = Soils bruns calcaires sur molasse
- " " avec inclusions de sols bruns
- || Association de sols bruns calcaiques à faiblement lessivés
- /// Association à sols bruns lessivés dominants
- |||| Unité complexe de pente en terrasses (sols d'érosion et d'apport, carbonatés ou non)
- //// Soils colluviaux argillo-limoneux (c = carbonatés)
- ccc Sol hydromorphe carbonaté à tuf
- Sol tourbeux calcaique
- ⊞ Mouille
- ▽ profil compacté



Chaque type est lié dans une région à une texture, à une valeur moyenne de capacité de rétention en eau et de drainage.
Les unités complexes ont été traduites par un dosage de trames en couleur indiquant les proportions relatives des types en mélange.

TABLEAU DES TYPES DE SOLS *

SUB-JURA (450 - 800 m.)

JORAT (700 - 900 m.)

Régression
par érosion

Stade normal
d'évolution

Régression
par érosion

Stade normal
d'évolution

SUBSTRATS

COMPACT - molasse
marneuse

- moraine
de fond

EQUILIBRE - moraine

PERMEABLE - molasse
grès

- fluvio-
glaciaire

- calcaire avec
faible couver-
ture moranique

pélosol vertique
carbonaté

pélosol
brunifié

brun calcaïque

brun lessivé

pararendzine

pararendzine
brunifiée

régosol
carbonaté

lessivé tendance
rubéfié

calcaïque riche
en matière
organique

brun humifère

étage submontagnard > 700 m

stagnoley à moder

brun à
pseudogley

brun faiblement lessivé
acide à
pseudogley

régosol
acide

sol brun
acide

* Sous réserve de modifications selon l'avancement des prospections.

PROPRIÉTÉS STRUCTURALES D'UN TYPE DE SOL HYDROMORPHE SOUS DIFFÉRENTES CULTURES À LA TRINITÉ

Jan Boehringer, Institut für Lebensmittelwissenschaft ETHZ
Labor für Chemie, Technologie und Bodenkunde

1. Introduction

Les méthodes courantes pour évaluer la structure des sols - par exemple la mesure des propriétés hydrauliques, de la porosité, de la composition granulométrique - conviennent mal aux sols à haut pourcentage d'argile ($> 30 \%$).

Les propriétés physiques des sols argileux qui les distinguent des sols à texture plus grossière, sont le résultat de forces superficielles. Ces forces deviennent importantes dans les sols à texture fine, car la surface totale est aussi grande. Le gonflage et la cohésion de l'argile, par exemple, sont le résultat de ces forces superficielles. Les variations de volume, tout particulièrement - dues au gain ou à la perte d'eau - font de ces sols des sujets impossibles à traiter comme de simple corps poreux. Dans le travail qui va être exposé, il s'agissait de savoir s'il existait des applications physiques à la différence de productivité d'un type de sol argileux, pris en deux endroits différents. Comme l'on verra par la suite, c'est une méthode non conventionnelle, parmi celles employées ici, qui a fourni la meilleure explication physique au problème.

Les sols argileux recouvrent une grande partie de l'île et de la Trinité. Ceux dont il est question ici, ont été classifiés sous la série des Cunupias. Leur texture est variable, comme le terme de série l'indique, néanmoins chaque individu possède une quantité d'argile égale ou supérieure à 40 %, ce qui justifie le terme de sol argileux employé pour ces sols. Cette série s'est développée sur alluvions récentes du bassin de drainage de la rivière Caroni.

Les alluvions sont le produit de l'érosion des argiles schisteuses et du grès quartzique de la chaîne montagneuse au nord de l'île. Les récoltes de canne à sucre, cacao, agrumes, bananes et riz obtenues sur ces sols, varient beaucoup selon les endroits, même avec l'apport d'engrais. C'est pourquoi des mesures portant sur la structure et les propriétés hydrauliques ont été faites au laboratoire en deux en-

droits jusqu'à une profondeur de 60 cm : à Las Hermanas et à St Helena. Le sol à Las Hermanas est cultivé avec du cacao mais sans grand rendement, tandis que le riz et la canne à sucre sont cultivés avec succès à St Helena. Les échantillons de sol ont été prélevés vers la fin de la saison des pluies sous forme de mottes de terre, car dans la mesure du possible, il fallait garder au sol sa structure naturelle pendant la mesure.

Les propriétés physiques mesurées furent la composition granulométrique, la densité vraie, la variation du volume avec la perte d'eau, limite de liquidité et la limite de plasticité, la stabilité des aggrégats, la rétention de l'eau, la conductivité hydraulique et l'analyse minéralogique de la fraction argileuse. Les mesures sur la plasticité ont été faites comme complément à l'analyse granulométrique: en effet, Warkentin (1972) considère que la composition granulométrique caractérise mal les sols argileux. Il propose en échange les deux indexes plastiques utilisés par les ingénieurs, et particulièrement la limite de liquidité. Ces deux limites font intervenir la nature aussi bien que la surface de l'argile; la quantité d'eau assimilable par les plantes est aussi mieux prévisible à partir de la limite de liquidité qu'à partir de la quantité d'argile. L'analyse minéralogique fut effectuée à titre de contrôle sur l'origine des deux sols.

2. Détails expérimentaux

2.1. Minéralogie

La minéralogie de la fraction d'argile fut déterminée à l'aide d'un diffractomètre à rayon X; le rayonnement est émis à partir du cobalt. L'argile est saturée avec du magnésium et possède une orientation parallèle (Whittig, 1965).

2.2. Granulométrie et densité vrais

La composition granulométrique a été déterminée avec tamis et cylindres de sédimentation. Les diverses fractions de sol furent recueillies avec une pipette selon Day (1965). La méthode de classification américaine fut adoptée.

La densité vraie a été déterminée à l'aide du pycnomètre selon Blake (1965).

2.3. Limite de plasticité et limite de liquidité

La limite plastique inférieure ou limite de plasticité, est le contenu en eau en dessous duquel le sol n'est plus plastique et s'effrite sous pression. La limite plastique supérieure ou limite de liquidité, est le contenu en eau en dessus duquel le sol devient liquide. Les deux limites furent mesurées, selon Sowers (1965).

2.4. Stabilité des agrégats

La stabilité des macro-agrégats a diamètre variant entre 2 et 5 mm fut mesurée selon une adaptation de la méthode de Tiulin (1928). Une colonne de 5 tamis avec des largeurs de mailles de 2 mm, 0.84 mm, 0.42 mm, 0.25 mm et 0.105 mm fut immergée dans l'eau et soumise à un mouvement hélicoïdal au rythme de 30 oscillations par minute. Les agrégats sont laissés dans l'eau pendant 7 minutes. Une correction a été faite pour les particules plus large que 0.25 mm (Kemper, 1965).

2.5. Matière organique et fer total

Le pourcentage de matière organique fut déterminée selon Walkley et Black (1934). Le pourcentage de fer total fut déterminé par fusion du sol tamisé à 0.25 mm avec du métaborate de lithium (Ingamells, 1966).

2.6. Rétention de l'eau

Sur le domaine de 0 à 50 millibars, les courbes de désorption furent mesurées à l'aide de coupelles poreuses. De 50 à 1000 millibars, des cellules à pression et des plaques à céramique furent employées. De 1000 à 15,000 millibars les mesures furent faites à l'aide d'une membrane de cellulose et finalement pour des tensions d'eau supérieures à 15 bars, les échantillons furent équilibrés avec des solutions de KCl. Les échantillons étaient des mottes taillées et chaque point sur la courbe de désorption représente la moyenne de trois mesures.

2.7. Perméabilité saturée et non saturée

La perméabilité saturée fut mesurée selon la méthode de Klute (1965). La conductivité est déduite à partir de la variation d'une colonne d'eau suspendue au dessus de l'échantillon.

La perméabilité ne put être mesurée que sur le domaine de 0 à 100 cm de tension d'eau. La méthode employée est une adaptation de celle de Sharma et Uehara (1968).

2.8. Variation de la densité apparente avec la dessiccation

La variation de la densité apparente des mottes fut mesurée en enveloppant les échantillons d'une couche plastique selon Brasher et al. (1966), et en mesurant le volume par déplacement. Le retrait de mottes est comparé avec celui de blocs remodelés; la variation du volume des blocs est mesurée par déplacement du mercure dans un pycnomètre.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

Les deux profils se révélèrent être acides (pH inférieur ou égal à 4.5). Le sol à St Helena posséda une texture plus grossière qu'à Las Hermanas. La composition granulométrique se montra plus variable selon la couche à Las Hermanas, tout particulièrement entre la couche 0-15 cm et celle de 15-30 cm. Le sol à Las Hermanas eut une limite de liquidité et de plasticité nettement supérieures ce qui était prévisible vu la différence en quantité d'argile; par contre la variation à l'intérieur d'un profil n'alla pas toujours de pair avec la variation en argile. La quantité de matière organique fut similaire aux deux endroits et diminua rapidement en dessous de 15 cm. La minéralogie de la fraction argileuse fut identique aux deux places; les minéraux dominants ont été le quartz, le mica, la kaolinite et la montmorillonite (avec des interstratifications). La présence de lépidocrocite révéla l'existence récente de conditions réductrices. A Las Hermanas ces conditions existèrent sur tout le profil tandis qu'à St Helena ces conditions ne furent présentes qu'après 30 cm. Il y a de plus une accumulation de fer total entre 30 et 45 cm à St Helena, entre 15 et 30 cm à Las Hermanas (voir tableaux 1 et 2).

Si l'on entend par porosité structurale, la porosité perdue par remodelage (Lauritzen, 1948), tout le profil à St Helena possède nettement plus de porosité structurale que Las Hermanas. A l'intérieur d'un profil, la porosité structurale fut maximale dans la couche supérieure et diminua régulièrement avec la profondeur (voir figure 1).

Les courbes de désorption montrèrent que le sol à Las Hermanas resta saturé jusqu'à environ 1 bar tandis que le sol à St Helena laissa déjà entrer de l'air à des tensions d'eau inférieures à 100 mbars. De plus, et ceci est plus marqué à St Helena, elles montrent une porosité non-capillaire plus grande dans les couches profondes, ce qui semble aller de pair avec une limite de liquidité plus faible.

L'expérience sur la stabilité des agrégats fut nettement en faveur de St Helena. La couche superficielle se montra la plus stable, de pair avec une plus grande quantité de matière organique. Les deux profils furent faiblement perméables. A Las Hermanas, la perméabilité saturée baissa régulièrement avec le temps alors qu'à St Helena, après une baisse initiale, une valeur fixe fut atteinte. La perméabilité saturée baissa en général en profondeur, à l'exception de la couche 0-15 cm à St Helena où elle fut plus basse que dans les couches plus profondes.

La perméabilité non saturée se maintint autour de 10^{-5} cm/min à St Helena entre 30 et 100 cm de tension d'eau tandis qu'il y eut une légère baisse à Las Hermanas où les valeurs fluctuèrent entre 10^{-4} et 10^{-6} cm/min. Cette fois-ci, les valeurs les plus basses furent enregistrées dans les couches superficielles des deux profils.

3.2. Discussion

L'expérience sur la variation de la densité apparente montra que, au contraire de Las Hermanas, la porosité du sol à St Helena augmente fortement avec la dessiccation. Le gain de porosité est dû à la formation de petites fentes dans le sol, comme cela a été observé au laboratoire et sur le terrain durant la saison sèche. Pendant cette saison, un fendillement intensif va de pair avec des conditions aérobies et la dés-hydratation de l'argile : ces deux facteurs retarderont l'amorce de l'anaérobie due aux pluies de la saison humide. De plus, un sol argileux très fendillé permet une meilleure utilisation des engrais et de l'irrigation que si le sol possédait une structure massive. Hardy et Derraugh (1947) déclarent que pour exploiter avec succès un sol argileux, il faut donner au sol un craquellement fin et intensif. Lorsque le sol est très fendillé, disent-ils, le pH augmente et il se produit la formation de sesquioxides formant un ciment très stable et réduisant la cohésion et le gonflement de l'argile.

A Las Hermanas la structure du sol reste massive pendant la saison sèche et l'on

observe sur le terrain la présence de crevasses. Du au gonflement de l'argile, ces crevasses se ferment rapidement pendant la saison des pluies, occasionnant en même temps une baisse dramatique de la perméabilité : le sol devient hydromorphe et le reste pendant une grande partie de l'année. La matière organique associée avec l'argile, peut jouer un rôle néfaste sur la structure, en ce sens qu'elle augmente la cohésion et ainsi la limite de liquidité. Il y a ainsi une réduction de l'eau disponible par les plantes et une baisse de la conductivité. D'autre part, et ceci crée une meilleure aération, la matière organique a tendance à se déshydrater irréversiblement. Les sesquioxides, en revanche, créent une baisse de la limite de liquidité.

Tableau 1: Densité vraie, fer total, matière organique et pH

Las Hermanas (cm)	Particle Density (g/cm ³)	Total iron content (%)	Organic Matter (%)	Soil pH in 0.01M CaCl ₂
0 - 15	2.50	3.7	2.4	4.5
15 - 30	2.67	5.2	1.0	4.0
30 - 45	2.73	4.7	1.0	3.9
45 - 60	2.72	4.1	.75	3.9
St. Helena				
0 - 15	2.56	2.7	1.85	4.2
15 - 30	2.51	3.0	1.35	4.2
30 - 45	2.63	3.7	1.1	4.7
45 - 60	2.63	3.2	.85	4.6

Tableau 2: Granulométrie et limites d'Atterberg

Las Hermanas	mechanical analysis				Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index
	< 2 μ	< 20 μ	< 53 μ	> 53 μ			
0 - 15 cm	37	86	95	5	80	38	42
15 - 30	64	97	99	1	78.3	35.7	42
30 - 45	63	96	98	2	73.8	31.4	42
45 - 60	50	88	96	4	73.3	30.8	42
St. Helena							
0 - 15 cm	33	71	86	14	48.8	25.1	24
15 - 30	32	67	85	15	47.6	23.8	24
30 - 45	35	67	85	15	49.8	23.6	26
45 - 60	33	52	80	20	46.7	21.3	25

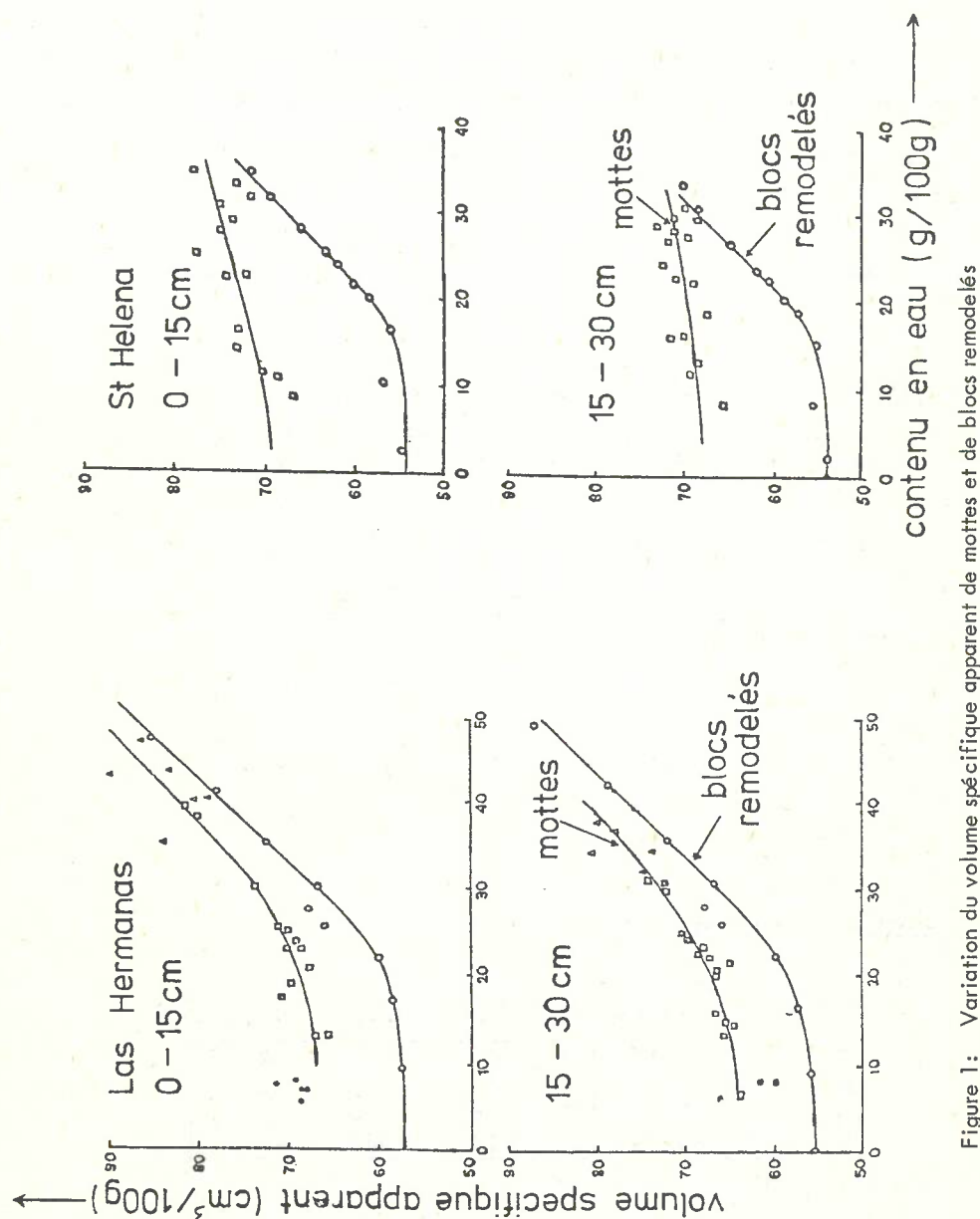


Figure 1: Variation du volume spécifique apparent de mottes et de blocs remodelés

4. Références

- Blake, G.R. - 1965. Particle Density. Agron. monograph 9, Part 1. Black et al. eds.
- Boehring, I.M. - 1975. Variation of Structure and Water Conducting Properties of Cunupia Silty Clay. M. Sc. Thesis, Univ. of West-Indies, St Augustine, Trinidad.
- Brasher, B.R., Franzmeier, D.P., Valassis, V. & Davidson, S.E. - 1966. Use of Saran resin to coat natural soil clods for bulk density and water retention measurements. Soil Science 101 : 108.
- Day, P.R. - 1965. Particle Fractionation and Particle-size analysis. Agron. Monograph 9, Part 1. Black et al. eds.
- Hardy, F. & Derraugh, L.F. - 1947. The Water and Air Relations of some Trinidad sugar cane soils. Part I & II. Trop. Agric. XXIV: 76-87 and 111-121.
- Klute, A. - 1965. Laboratory Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Soil. Agron. Monograph 9, Part 1. Black et al. eds.
- Kemper, W.D. - 1965. Aggregate Stability. Agron. Monograph 9, Part 1. Black et al. eds.
- Ingammels, C.O. - 1966. Absorptiometric Method in Rapid Silicate Analysis. Anal. Chem. 38 : 1228-1234.
- Lauritzen, C.W. - 1948. Apparent Specific Volume and Shrinkage Characteristics of Soil Materials. Soil Science 65 : 155 - 179.
- Sharma, M.L. & Uehara, G. - 1968. Influence of Soil Structure on Water Relations in low Humic Latosols, Part II. Water Movement. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc. 32 : 770-773.
- Sowers, G.F. - 1965. Consistency. Agron. Monograph 9, Part 1. Black et al. eds.
- Tiulin, A.T. - 1928. Aggregate Analysis as a Method for determining Soil Structure. Perm. Agric. Exp. St. Div. Agric. Chem. 2 : 77.
- Warkentin, B.P. - 1972. Use of the Liquid Limit in characterising Clay Soils. Can. J. of Soil Science 52 : 457-464.
- Walkley, A. & Black, I.A. - 1934. An Examination of the Degtjareff Method for determining Soil Organic Matter, and a proposed modification of the chromic Acid Titration Method. Soil Science 37 : 29 - 38.
- Whittig, L.D. - 1965. X-ray Diffraction Techniques for Mineral Identification and Mineralogical Composition. Agron. Monograph 9, Part 1. Black et al. eds.