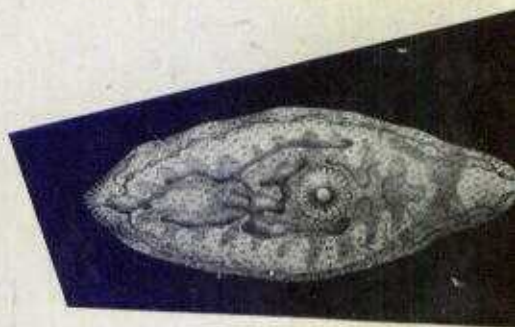
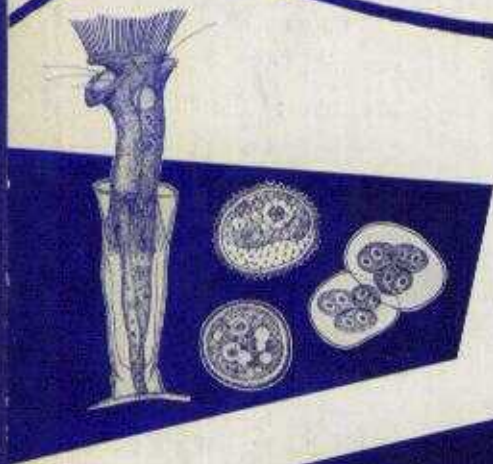
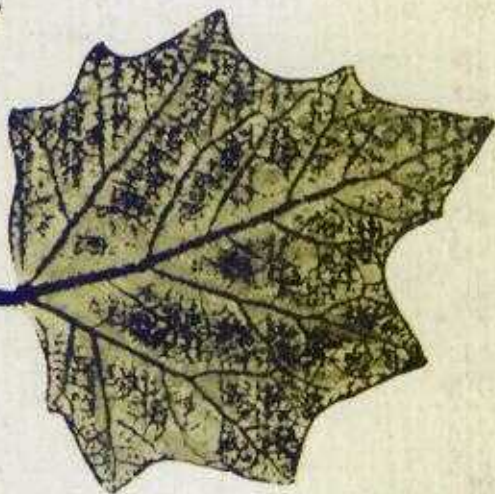


ANNIE FRANCÉ-HARRAR

HUMUS

BODENLEBEN
UND FRUCHTBARKEIT



ANNIE FRANCÉ-HARRAR

HUMUS

BODENLEBEN UND FRUCHTBARKEIT

Mit 22 Abbildungen
auf Kunstdrucktafeln

1957

BAYERISCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG

BONN-MÜNCHEN-WIEN

© Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH, München 3, Marsstraße 38
Alle Rechte, auch das der Übersetzung und des auszugsweisen Abdrucks, vorbehalten.
Tafel 1-3: Martin Engel, Ansbach; Fotos der Tafeln 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11: Verfasserin;
Fotos der Tafeln 12 und 13: Versuchsgärtnerei Hannover-Kleefeld; Einband: Otto Nilges.
Druck: Donau Kurier GmbH, Ingolstadt • Buchbinder: R. Oldenbourg, München.

INHALTSVERZEICHNIS

- Vorwort
- Ein Wort zur Einführung
- I. Der Naturhumus
 - Entstehung von Naturhumus
 - Eigenschaften des Naturhumus
- II. Leben wird aus dem Stein
- III. Wie kann Humus ersetzt werden?
 - Das Organische
 - Das Anorganische
- IV. Wie bereitet man Humus?
 - Aus Stadtabfällen
 - Die Herstellung von Humus
 - Aus Abfällen der Landwirtschaft
- V. Neuer Gesichtspunkt der Landwirtschaft
 - Humuswirtschaft
 - Nutzen und Nachteil der Mineraldüngung
- VI. Die Probleme der Bodenverbesserung
 - Fruchtbarmachung steriler Böden
 - Rhizobienhumus
 - Strukturverbesserung
 - Wiederbelebung der Wüste
- VII. Erneuerung der Landwirtschaft nach den Lebensgesetzen des Bodens
- VIII. Erntesteigerung und Bodenschutz
 - In Arbeitsgemeinschaft mit der Natur
 - Bodenschutz
- IX. Organisation der Humuswirtschaft
 - Anhang (Allgemeine Bemerkungen und A n a l y s e n)
- X. Erläuterung der im Text vorkommenden Fachausdrücke

VORWORT

Alle Lebenskreisläufe begegnen sich letztthin im Schöße der Erde. Es ist begreiflich, daß die Naturvölker seit urdenklichen Zeiten eine Schutzgöttin der fruchtbaren Erde verehrten.

Der Boden ist mehr als nur Standort und Nährsubstrat der Pflanzen. In dieser Erkenntnis sind Technik und Wissenschaft bemüht, ihm Schutz und Pflege angedeihen zu lassen. Dies ist nur möglich unter Berücksichtigung der Kreisläufe des Lebens insgesamt. Dabei kommt dem Mikroleben des Bodens eine besondere Bedeutung zu.

Es ist Verdienst des Biologen und Naturforschers Raoul FRANCÉ, daß den segensreichen Arbeiten LIEBIGS auf dem Gebiete der Pflanzenernährung wertvolle Erkenntnisse über die Bedeutung der Mikroflora des Bodens - des „Edaphon“ — für Humusmehrung und Fruchtbarkeit an die Seite gestellt werden konnten. Auf Grund von Erosion, Versteppung und Humusschwund — Gegebenheiten, für die leider allzuoft der Mensch die Verantwortung trägt — ist dem Bodenschutz ein umfassendes Arbeitsfeld erwachsen, wobei der Bodenbiologie eine wesentliche Aufgabe zukommt.

Es wäre müßig, über diese oder jene in der folgenden Arbeit vertretene Auffassung oder Hypothese zu rechten. Als wesentlich erscheint vielmehr, daß das Thema „fruchtbare Erde“ in seinem globalen Zusammenhang und in seiner ganzen lebendigen Dynamik gesehen werden muß.

Der Verlag

EIN WORT ZUR EINFÜHRUNG

Dieses Buch ist das Ergebnis einer annähernd 40jährigen Arbeit von Dr. h. c. Raoul H. Francé und der Verfasserin. Raoul H. Francé hat unter der Bezeichnung „Edaphon“ die Grundlagen der modernen Bodenbiologie und einer praktischen Humuserzeugung geschaffen.

Raoul H. Francé publizierte außer dem ersten wissenschaftlichen Werk: „Das Edaphon, Untersuchungen zur Ökologie der bodenbewohnenden Mikroorganismen“ (Franckh'sche Verlagsbuchhandlung 1921, 1923) nur ein Kosmosbändchen „Das Leben im Ackerboden“ (1923), das, ausgestattet mit Federzeichnungen aus seiner eigenen Hand, eine große Auflage erlebte. Beide Werke sind seit dem zweiten Weltkrieg vergriffen. Leider haben sie seither keine Neuauflage mehr erlebt. Es ging ihnen wie so vielen Werken, die eine bedeutsame Epoche einleiteten. Man hielt sie für „veraltet“, während sie in Wirklichkeit die ersten Pioniere einer neuen, bedeutsamen Erkenntnis waren. In der ganzen deutschsprachigen und einem nicht unwesentlichen Teil der fremdsprachlichen Presse schrieben wir beide Artikel und Berichte über das Bodenleben. Dazu kamen zahlreiche Vorträge, in denen die Zuhörer für den neuen Humusgedanken interessiert wurden.

Grundlegende Bedeutung kam den ersten Forschungsarbeiten im Biologischen Institut München zu, wie zum Beispiel Spezialuntersuchungen über die Nahrung des Regenwurmes (Rose von Aichberger), über die erste Besiedelung der Gesteine (Dr. F. Falger), über die Verlandungsformen des Schwarzsees bei Kitzbühel u. a. m. Auch zwei von Francé herausgegebene Zeitschriften „Der Mikrokosmos“ und „Die Kleinwelt“ erschienen einige Jahre lang — aber alles zerstörte der erste Weltkrieg und seine unwälzenden Folgen. Die Schüler fielen oder verloren sich, das Biologische Institut wurde von unwissenden Fanatikern sinnlos zerstört, Bücher und Apparate verbrannten oder wurden gestohlen. Niemand konnte meinem Mann das verlorene Institut ersetzen. Der zweite Weltkrieg räumte dann mit allem auf, was inzwischen wieder neu geschaffen worden war. Eine große Bibliothek mit wertvollen Fachwerken ging in Dubrovnik verloren, Hunderte von Zeichnungen und Notizen von Francés Meisterhand verbrannten oder wurden von stürzenden Mauern verschüttet. Auch alle Präparate und unzählige Mikroaufnahmen wurden zerstört. Ich selber besitze außer einigen mühsam zurückgekauften Büchern so gut wie nichts mehr aus dieser Zeit.

Voraussetzung für die Schaffung des Begriffes „Edaphon“ war die Kenntnis der Bodenmikrolebwelt und ihrer Systematik. Mein verstorbener Mann war ein hervorragender Kenner von Protozoen und Algen, von Mikropilzen und Bakterien. In Zusammenarbeit mit seinen Schülern stellte er in den Jahren 1906 bis etwa 1920 die Lebensgruppen des Edaphons auf.

Bis 1926 untersuchten wir europäische Böden. Dann dehnten wir die Forschung aus auf tropische Böden: afrikanische und australische Wüstenböden, Urwaldböden von Vorderasien, Indien, Westindien, Zentralamerika und auf einer ganzen Reihe von polynesischen und melanesischen Südseeinseln. Auf jahrelangen Forschungsreisen arbeiteten wir an dem Problem in den Südstaaten der USA, in Florida und vor allem in den Everglades, die damals noch wenig erschlossenes Indianerreservat waren. Vierzehn Jahre Tätigkeit in Süddalmatien, an den Küsten des östlichen Mittelmeeres, in Ägypten, Syrien, einem Stück der europäischen Türkei, Griechenland und fast auf dem gesamten Balkan rundeten die vergleichenden Bodenforschungen ab. Ich selber erschloß Ungarn, Österreich, Skandinavien und Holland. So konnte ich einen großen Schatz von Kenntnissen über die wesentlichsten Landschaften der Erde ansammeln.

Diese vielen Untersuchungen ergaben, daß das Edaphon auf der gesamten Erde etwas Einheitliches, gewissermaßen eine Formation ist, in der es selbstverständlich viele durch Klima und Umwelt bedingte Lokalformen gibt, die aber am Gesamtbild und an der Gesamtfunktion nichts ändern. Es steht außer Zweifel, daß die fruchtbaren Zonen der Erde Humusgebiete sind. Die Humusbildung aber ist einwandfrei das Werk von Mikroorganismen. Ihr geht ein ebenfalls durch Mikroben gesteuerter Abbau aller organischen Reste und der Feinerosion voran, welche beide das notwendige Ausgangsmaterial zum Humus darstellen.

Wenn man konsequent immer wieder dieselben Untersuchungen vornimmt, läßt sich erkennen, wie die Leistungen der Mikrobiobewelt des Bodens fundiert sind. Es gibt für jedes Stadium eine Grundbiozönose, die vorhanden sein *muß*, und es gibt „fakultative Symbiosen“, die vorhanden sein können oder dürfen. Es kommen aber immer wieder solche vor, die bestimmten Phasen nicht zugehören, die einen falschen oder gestörten Ablauf — meistens bei der Verrottung — anzeigen und die so rasch wie möglich durch die richtigen Arbeitsgruppen ersetzt werden müssen.

Im allgemeinen ist Humus ein Reinboden, jedenfalls gereinigt von den Massen der Fäulnisorganismen, welche die Aufschließung von Abfällen besorgen. Darum enthält er auch nicht jene pathogenen Krankheitskeime, die vor allem durch Jauche, Abwasser, Müll, Mist und jede Art sich zersetzender Rückstände in die Erde gelangen und für verseuchte Böden charakteristisch sind. Man kann schon vieles Ungünstige aus einem lebenden Präparat ersehen, was dann im Pflanzenversuch bestätigt wird durch plötzliche Krankheiten, Bodenerschöpfung und Anomalien in Wuchs, Blüte und Fruchtbarkeit. Dadurch ist auch die Möglichkeit einer Abhilfe von Grund auf gegeben.

In Mexiko, wo ich nun im sechsten Jahr auf Grund behördlicher Initiative durch den Aufbau einer großen Humusorganisation den Kampf gegen Erosion und Bodenverschlechterung unterstütze, hat sich indes das Humusproblem noch wesentlich erweitert. Diese Erweiterung des Problems ist aber keines-

wegs nur für Mexiko allein, sondern für die Landwirtschaft der ganzen Welt von Wichtigkeit.

Zunächst ging es auch in Mexiko, wie überall, um die Frage der Verwendung der Stadtabfälle. Das Müllproblem ist heute für uns gelöst. Wir überwachen die Müllverarbeitung in mexikanischen Städten und übernehmen die notwendige Laboratoriumskontrolle, um die gleichmäßige Güte des Endproduktes zu sichern. Die Fragen der Kosten, der Transporte, überhaupt der Wirtschaftlichkeit sind nach jeder Richtung hin geklärt, auch in Hinsicht einer maschinellen Anlage. Im Klima der kalten Subtropen wie in der Stadt Mexiko, der „Tierra fria“, dauert es acht Wochen, um Müll, Schlachthofabfälle, Kanalschlamm etc. nach unserer Methode in Humus umzuwandeln. In den eigentlichen Tropen bedarf es dazu nur sechs Wochen, im gemäßigten Klima (Europa, USA) zwölf Wochen. Im nördlichen Klima muß man, je nach Besonnung, meist noch ein paar Wochen zugeben. Komplikationen habe ich bisher nie erlebt. Im allgemeinen kann man sagen, daß Stadtabfälle, Abwassersedimente u. dgl. am einfachsten und schnellsten in Humus umzuwandeln sind. Die sich durchschnittlich ergebende Menge beträgt bei der sowohl teureren als weniger exakt arbeitenden Handarbeit ca. 66 Prozent, kann aber bei einer maschinellen Anlage bis auf 75 Prozent des Ausgangsproduktes, evtl. sogar etwas darüber gesteigert werden. Die durchschnittliche Feuchtigkeit bei Humus, der ja eine „lebende“ Materie ist, darf keineswegs unter 40 Prozent liegen. Es handelt sich dabei aber nicht um „Wasser“, sondern um eine hochwertige, organismen- und nährstoffreiche Infusion, welche die Pflanzenwurzel optimal auswertet.

Infektionsgefahr, Platzmangel, vor allem aber hygienische Gegebenheiten zwingen die Städte, sich um die Beseitigung ihrer Abfälle zu kümmern. Sie haben es auch auf die verschiedenste Weise versucht. Angesichts der immer dringlicher werdenden Notwendigkeit, erschöpfte Böden wieder aufzufrischen (was nicht durch „Dünger“, sondern nur durch Humus geschehen kann), ist keine Methode brauchbar, die nicht gleichzeitig Humus schafft. Das Vorbrennen hat sich in all den Fällen, die ich aus eigener Anschauung kenne, nicht nur als enorm teuer, sondern auch überhaupt als unzulänglich erwiesen. Auf die Nachteile einer nicht biologisch gesteuerten, ungenügenden Humifizierung, die selbstverständlich nur einen mehr oder weniger unvollkommenen, auch in hygienischer Hinsicht durchaus mangelhaften Kompost ergibt, soll später näher eingegangen werden.

Abgesehen vom Stallmist, Jauche oder Gülle hat man sich bisher so gut wie gar nicht um die Abfälle der Landwirtschaft gekümmert.

In Europa und den USA wird zwar fast alles, was von den Ernten übrig bleibt, in irgend einer Form nahezu restlos verwertet. Aber es kommt doch immer wieder vor, daß große Anfälle aus Mißernten oder plötzlich eintretenden Wetterkatastrophen einfach nicht aufgearbeitet werden können. Auch ergibt die allgemeine Umstellung auf Traktorenwirtschaft einen Überfluß an Stroh, der früher in die Viehstallungen wanderte.

Dagegen ist die Frage der Verwertung landwirtschaftlicher Abfälle in den tropischen und subtropischen Rohstoffländern von außerordentlicher Bedeutung. Dort gibt es ständig Millionen Tonnen wertvoller Rückstände, aufgebaut aus Kohlehydraten, Fetten und Ligninsubstanz. Ausgedroschenes Weizen-, Mais-, Gersten-, Hirse- oder Haferstroh wird auf dem Feld angezündet. (Das-selbe tut man leider auch in Südschweden in der Landschaft Schonen.) Man weiß einfach damit nichts anzufangen und meint, es verbessere den Boden durch Anreicherung mit Mineralsalzen.

Wesentlicher noch als das Beispiel Stroh ist die Frage der Verarbeitung von Plantagenrückständen, Kaffeepulpa, Zuckerrohr- und Henequenbagazo, Magueypflanzen, leeren Maiskolben, Holzabfällen, Baumwoll- und Erdnuß-überbleibseln etc. Angesichts dieser Massen von teils recht schwer aufschließ-baren Resten war es notwendig, einen Modus vivendi zu finden, der diese Aufschliebung beschleunigt. Er wurde nach längeren Versuchen ausgearbeitet in Form eines intensiv und rasch wirkenden Produktes, das ich „Saprofil“ nannte. Es wird jetzt in unserem Labor bereits im großen hergestellt, ist rein biologischen Ursprungs und beruht auf dem natürlichen Prozeß des Zelluloseabbaues. Dabei wird der wirtschaftlich sonst nicht tragbare Vorgang der Verrottung — der in der Natur meist Jahre dauert — sehr wesentlich abge-kürzt. Wir halten es so, daß wir an Interessenten und große Ranchobesitzer die bei uns ausgearbeiteten Rezepte hinausgeben und ihnen „Saprofil“ dazu liefern. Gleichzeitig übernehmen wir die Kontrolle über die hergestellten Arten von Zellulosehumus und beraten den Hersteller über die optimale Form seiner Anwendung. In Mexiko werden heute bereits Tausende von Tonnen Zellulosehumus auf diese Weise produziert. Dieser Zellulosehumus ist bodenbiologisch überaus hochwertig und hat abnorm hohen edaphischen Formenreichtum bei einem pH-Wert 7-8. Im Aussehen gleicht er einem erst-klassigen Laubwaldhumus. Die Ausbeute richtet sich nach der Rohstoffbe-schaffenheit.

Wenn man solch neue Methoden der Humus-Produktion einschlägt, erlebt man auch unvorhergesehene Überraschungen. So sahen wir uns veranlaßt, neben dem „Saprofil“ ein „Saprodon“ zu entwickeln, das zwar nicht direkt, aber doch indirekt an der Humusproduktion teilnimmt. Seine Aufgabe ist eine biologische Abwasserklärung, so daß das geklärte Wasser wiederum für Tiere und Pflanzen und als Nutzwasser verwendet werden kann. Außerdem beseitigt es durch seine rapide Tätigkeit in kürzester Zeit alle üblen Gerüche von Senkgruben, Massenaborten und langsam fließenden Abwassergräben verschiedenster Herkunft.

Nach dem natürlichen Beispiel des bekannten Prozesses der Selbstreini-gung verschmutzter, fauliger Wässer, wurden diese biologisch geklärt durch „Einsaat“ einer besonders aktiven Biozönose von Organismen. Sie können Eiweiße, Fette, Zucker, Zellulosen, Pektine, aromatische Stoffe und Alkaloide aufschließen und humifizieren. Da auch die Großstadt Mexiko, so wie alle

anderen Großstädte mit dem Trink- und Nutzwasser sparsam umgehen muß, laufen jetzt Versuche, um aus den „aguas negras“, den Kanalwässern, auf diese Weise so viel Nutzwasser zu gewinnen, daß mit einem wesentlichen Wasserzuschuß gerechnet werden kann.

Als ich in Mexiko zu arbeiten begann, stand ich vor einem zweiten, noch wichtigeren Problem. Ein Großteil aller mexikanischen Böden wurde von Zeit zu Zeit durch eine wahre Vulkanhölle immer wieder völlig unfruchtbar gemacht. Das Überschüttungsmaterial fiel dann einer stürmischen Erosion zum Opfer. Eine geologische Analyse, die sich bis auf 1000 m Tiefe erstreckt, zeigt, daß das ganze Hochtal von Mexiko, das heute 2300—3000 m über dem Meeresspiegel liegt, in dieser Schicht fast keinen gewachsenen Boden besitzt. Schwemmsand, Konglomerate, Lava, nach allen Seiten abfließende Grundwasserströme, Ton- und Lehmlinsen, das alles von verschiedener, aber nicht starker Mächtigkeit, bildet einen äußerst instabilen Untergrund. Er wird von massiven Bänken aus Aschen, die bei Hochglut ausgebrannt sind, unterbrochen. An vielen Orten stehen solche Aschen, manchmal mit Auswürfen von Lapilli untermischt, von den letzten vulkanischen Ausbrüchen her als weitgedehnte Hügel. Sie heißen mit einem alten Aztekenwort „Tepetate“.

Die Tepetate ist der Fluch der mexikanischen Landschaft, denn man stößt auf sie bis hinunter nach Acapulco an der pazifischen Küste und bis hinauf in den Norden, nach Sonora und Chihuahua. An vielen Orten ist freilich die oberste Decke mehr oder weniger verwittert und hat eine dünne Erdschicht gebildet, die der aufkommende Wald dann langsam vermehrte. Jede Katastrophenperiode schuf ihre Tepetatelager.

Im Mikroskop sieht man dabei immer wieder dieselben scharfen, dünnen Glassplitter, reine Silikate, kaum besiedelt, ohne jede organische Substanz. Alle mexikanischen Böden sind außerordentlich silikatreich. Zusammen mit den häufigen Aluminiumverbindungen hat man mit durchschnittlich 85—95 Prozent Silikaten als eigentlichem Bodenmaterial zu rechnen. Eine Ausnahme machen, von mehrfachen „Calichedecken“ (sehr dünnen Sedimentkalken) abgesehen, nur Yucatan und Baja California. Beides sind gehobene Kalkriffe, voll von versteinerten Muschelschalen und zertrümmerten Radiolarienskeletten. Aber auch hier ist der Kalksand stark siliziert. Jetzt sind sie erschreckend erodiert, voll von großen und kleinen Canonbildungen und durch rücksichtslose Entwaldung fast ganz von fruchtbarer Erde entblößt. Viele Hunderte von Kilometern weit gibt es nur Kaktus- und Agavenurwälder mit ausgedehnten Flugsandinseln dazwischen.

Kahlschläge und das unermüdliche Abbrennen ländereweiter Wälder haben die ohnedies nur arme Bodenoberfläche total verwüstet. Dazu kommt der Maisbau, der seit Jahrhunderten ohne Brache und Fruchtwechsel, meist auch ohne Düngung, bis zur völligen Erschöpfung des Bodens betrieben wird. Der Mais ist ein gefürchteter Ausplünderer aller organischen Substanz und führt unweigerlich zum Bodenruin, wenn er in solcher Art viele Generationen lang

auf demselben Platz gepflanzt wird. Das sieht heute in Mexiko jeder Fachmann ein. Aber die Armut des Indianers und seine konservativ urväterliche Einstellung erschweren alle guten Absichten der Regierung.

Aus allen diesen Ursachen ist die Neubildung von Humus sozusagen eine Lebensfrage geworden. Von selbständiger Vermehrung kann man nur selten sprechen, da es an organischer Substanz fehlt. Nur in der „Tierra caliente“, an den Küsten des Pazifik und des Atlantik und am Golf von Campeche — also in Tabasco, Chiapas, Jalapa, in Guerrero und Michoacan gibt es noch Humusreserven in unbetretbaren Urwäldern. Anderswo, in Kaffee-, Bananen-, Baumwoll- und Zuckerpflanzungen versuchte man von Anfang an, die Böden so gut wie möglich zu pflegen.

Selbst wenn man alle Stadt-, Industrie- und Landabfälle zusammenfassen würde, könnte daraus nicht genügend organische Substanz gewonnen werden, um das Humusdefizit der Landwirtschaft zu decken. In den einstigen Kolonialländern der Alten und Neuen Welt werden heute noch große Gebiete abgeholzt oder durch rücksichtsloses Sammeln von Harzen, Gummi, Tierfellen, sowie neuerdings durch Abbau von Uranerzen ihrer ursprünglichen Natürlichkeit beraubt. Die Urbarmachung für Plantagen läuft stetig weiter. Auf diese Weise bricht die Erosion in Bezirke ein, die bisher von ihr verschont geblieben waren. Im Gebirgs- und Hügelland ist sie praktisch nicht mehr aufzuhalten. Jede Erosion zerstört einerseits und gefährdet dadurch Lebensraum, andererseits liefert sie in Form der Fein- und Feinsterosion jenes Material, aus dem die Natur wieder Organisches schafft.

Alle die großen irdischen Kreisläufe verbinden ständig das lebende Plasma mit dem toten Mineral. Diese Aufgabe fällt zum größten Teil den Mikroorganismen zu. Der Prozeß ist viele Jahrmillionen alt und längst in allen seinen Feinheiten eingespielt. Ist es möglich, diesen in der Natur sehr langsamen Vorgang so zu steuern, daß er im zeitlichen Verlauf den Bedürfnissen der Praxis in Gärtnerei und Landwirtschaft gerecht wird?

Es ist möglich.

Es gelang durch das von mir entwickelte „Petrofil“, dem im Rahmen dieses Buches ein Kapitel gewidmet ist.

Das „Petrofil“ wurde in Mexiko ausgearbeitet. Seine Entwicklung war gewissermaßen die Antwort der Bodenbiologie und Edaphologie auf den Notschrei der verwüsteten Böden. Heute produzieren wir in unserem Labor Zehntausende von „Ladrillos“, das sind Einzelziegel von „Petrofil“. Ein Einzelziegel enthält in zeitlich unbeschränkt haltbarer Form die mineralaufschließenden Organismen für je 1 cbm Rohbeet. Im „Petrofil“ sind alle die Mikroben enthalten, die Humus aufbauen, nachdem die Verrottung abgeklungen ist. Mit derselben Masse werden auch Samen umkleidet, die in besonders erbärmliche Böden zur Einsaat kommen. Wir haben damit die verschiedensten Versuche gemacht. Völlig aufgegebene, unbebaubare Tepetate oder jene 2-3 cm dicke Kalksandschicht über dem harten Kalksteingrund von Yucatan,

wo keinerlei organische Substanz vorhanden ist, erhalten durch Aussaat nach obiger Methode behandelten Saatgutes in fünf bis zehn Jahren eine Erdschicht. Voraussetzung ist nur, daß Wasser erreichbar ist. (In Yucatan liegt der Grundwasserspiegel an vielen Orten nur 4—10 m tief, so daß er evtl. sogar mit einem sog. „Pozo“, einem Indianerbrunnen, erreicht werden kann. In den scheinbar so hoffnungslosen Kaktuswüsten von Niederkalifornien gibt es, wie ich mich selber überzeugen konnte, nicht nur brackiges oder salziges, sondern auch süßes Wasser, das bereits in 5—20 m erbohrt werden kann.)

Während zwar in den ersten Jahren naturgemäß der Ernteertrag bescheiden ausfällt, kann man schon im ersten Jahr immerhin mit einer beginnenden Bodenbildung rechnen! Wenn man Bolitas, also in Petrofilmasse eingepackte Samen von Mais, Bohnen etc. aussät, wandern die höchst aktiven mineralliebenden Organismen aus und setzen auf Grund ihrer starken Vermehrung den Boden in eine organisch infiltrierte Substanz um. Selbstverständlich ist die erste, so entstandene Erde noch hochmineralisch. Aber sie ist eben doch schon Erde, während sie vordem „Tepetate“, oft genug zu Steinen verfestigt, war. Im Gegensatz zum früheren Zustand enthält sie Mengen von tätigen Organismen. Im Mikroskop läßt sich beobachten, wie diese in den von ihnen gebildeten Zoogloeen oft anorganische kleinste Mineralpartikel in ihrer Gallerte einfangen, festhalten und auflösen. Auf diese Weise entsteht auch die notwendige Krümelung. Während man bei hochmineralischen, z. B. Tonböden, mit der gefürchteten, luftlosen, zementartigen Struktur rechnen muß, ist ein so gebildeter Boden schon in der ersten Phase sehr gut durchlüftet. Darum sind die Wurzeln, selbst die zartesten Adventivwurzeln, sehr gut ausgebildet, was wieder eine gute Ernährung der Pflanze zur Folge hat. Im zweiten und dritten Jahr beträgt die mit Organismen und organischer Substanz durchsetzte Schicht meist schon mehr als 30 cm. Das ist die eigentliche Lebenszone des Edaphons. Nach unseren Versuchen kann man auf solchen Böden schon anspruchslosere Blattgemüse wie Kohl und Salat pflanzen. Verbessert man nun den Boden, indem man die fehlende edaphische Mikrobenquote hinzufügt, so sind mittelgute Ernten bereits im dritten und vierten Jahr erzielbar. Die Bodenverbesserung schreitet dann zusehends voran, weil die Mineralien durch die reichlich vorhandenen Mikroben laufend aufgeschlossen und zur Bildung organischer Substanz nutzbar gemacht werden. Dieser Vorgang vollzieht sich im Gebirge und auf Steppen.

Die Ergebnisse unserer wiederholten Untersuchungen zeigten, daß die erwähnte Methode zur Bodenverbesserung tatsächlich praktisch anwendbar ist, sogar bei Trockensteppen und Halbwüsten, sobald die Wasserfrage geklärt ist.

Unsere auf „Petrofil“ aufgebaute Methode, die sich auf die lithobiontischen Organismengruppen stützt, ist überall anwendbar, sei es in den Halbwüsten Vorderasiens oder denen Nordafrikas. Beide waren einst reiche Kulturböden, die der Unvernunft des Menschen den jetzigen Zustand verdanken. Diese

einstigen „Kornkammern“ der alten Welt könnten wieder zu dem gemacht werden, was sie einmal waren, ebenso das seit der Antike verkarstete Inner-sardinien und Innersizilien, wie das ganze südliche Italien, vor allem aber das einst waldreiche, jetzt wie eine Mondlandschaft anmutende wasserlose Innere von Spanien, gar nicht zu reden von den Balkengebirgen. In einem Menschenalter könnte man dort Böden zurückgewinnen, die heute als verloren gelten.

Mexiko hat das außerordentliche, nicht hoch genug einzuschätzende Verdienst, daß zum erstenmal, unbehindert von Kriegswirren und Kriegsverlusten, in großzügiger Form eine Humusorganisation praktisch aufgebaut werden konnte. Das Land verfolgte die Arbeit mit offenen Augen und Ohren — und hatte eine offene Hand. Das ermöglichte mir, mich vertieft mit dem Problem der beiden großen Linien der Bodenbildung, der chemischen und der biologischen zu beschäftigen, mit dem Ziele, in Würdigung der Erkenntnisse beider Richtungen dem Boden im besten Sinne zu dienen. Praktisch ist dies möglich durch eine bestimmte Kombinierung von „Petrofil“ mit den Mineraldüngern.

Rückblickend auf eine Arbeit von über einem Menschenalter, deren Begründer Raoul H. Francé war, sage ich allen Dank, die ihn und mich dabei unterstützten, den Schülern, Freunden, Verlegern und der Presse. Ohne die umfassenden Versuche bodenwissenschaftlicher Anstalten - vor allem der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München, der österreichischen Bundesanstalt in Linz und des Landwirtschaftsministeriums in Mexiko - sowie auch der Initiative privater Grundbesitzer wäre es nicht möglich gewesen, die im Biologischen Institut in München begonnene Arbeit weiter zu entwickeln und schließlich der Praxis zuzuführen.

Dieser Dank gilt auch der Cia. Mexicana Abonos Agricolas, welche mir ermöglichte, mit Regierungsförderung ein Laboratorium einzurichten und die dort gemachten Erfahrungen in den landwirtschaftlichen Großbetrieb übertragen zu können. Der erste Kreis von Schülern und Mitarbeitern meines Mannes, die teilweise nicht mehr unter den Lebenden weilen, erweiterte sich inzwischen auf Freunde nicht nur in Europa, sondern auch in Mexiko, die die praktischen Anregungen zur Bodenverbesserung in die Welt tragen werden.

Leben und Tod, Weltkatastrophen und eine tiefgehende Umorganisation der menschlichen und staatlichen Existenz liegen zwischen dem Heute und den ersten Edaphonstudien, die jene schönen, fränkischen Sommertage in den Wäldern bei dem von uns so sehr geliebten alten Städtchen Dinkelsbühl in meine Erinnerung zurückrufen. Über Edaphon und Humus ist das Leben der Erde unzertrennlich mit dem Dasein der Menschheit verbunden. In ihnen wirken dieselben, den ewigen Wandel des Seins gestaltenden Kräfte.

Mexiko D. F., im November 1956

Annie Francé-Harrar

I. DER NATURHUMUS

Entstehung von Naturhumus

Vor gar nicht langer Zeit hatte ich ein Gespräch mit einem Ranchero, der in mein Labor kam, um sich wegen seiner Alfalva (Luzerne, in Mexiko meistgebaute Futterpflanze) beraten zu lassen. Er wollte sich eine kleine Milchwirtschaft einrichten und hatte all sein Geld in Grund und Vieh gesteckt. Und nun, nachdem er sich schon einen recht ansehnlichen Gewinn herausgerechnet hatte, erlebte er die Enttäuschung, daß die Alfalva auf seinem Boden nicht gedieh. Sie wuchs nur stellenweise, an vielen Stellen bekamen die Blätter schwefelgelbe Flecken und vielfach stand gar nichts.

Warum? Als ich den neugebackenen Ranchero soweit ausgefragt hatte, daß ich mir ein halbwegs zuverlässiges Bild machen konnte, sah dieses Bild so aus:

Der Mann hatte ein kleines Vermögen geerbt und bis dahin als mittlerer Beamter nicht ohne Geschick für sich und seine Familie das Nötige verdient. Irgend jemand verschaffte ihm das Grundstück. Weil es billig war und bequem an der Straße lag, kaufte er es.

Hatte er einen Fachmann nach der Qualität des Bodens gefragt? O ja, denn der Vermittler zeigte ihm eine chemische Bodenanalyse. Außerdem baute gar nicht weit davon eine Familie Mais und hatte dort seit Generationen Mais gebaut, höchstens dann und wann einmal dazwischen Bohnen. Den Mais hatte er angesehen. Wenn es genügend regnete, so wuchs er, nicht sehr hoch, aber immerhin: er ernährte seine Besitzer, jedenfalls er wuchs. Warum also wuchs seine Alfalva, die doch gar nicht so weit entfernt war, nicht?

Ich gab mir vergeblich Mühe zu erfahren, was denn in der chemischen Bodenanalyse gestanden hatte. Er behauptete, er hätte es vergessen. Ohne mich darüber zu äußern, war ich jedoch der Ansicht, daß er sie gar nicht verstanden hatte. Das eine schien sicher zu sein - er hatte keinerlei Konsequenzen daraus gezogen, vermutlich darum, weil er sich über die praktische Bedeutung durchaus nicht im klaren war.

Ich untersuchte mit Hilfe des Mikroskops die mitgebrachten Bodenproben, da ja ein mehr oder minder großer Reichtum an edaphischen Formen ein erschöpfendes Bild der Erde und ihrer Möglichkeiten gibt. Das Ergebnis war so, daß ich meinem Ranchero leider sagen mußte:

„Sie täten eigentlich besser daran, wenn Sie auf Ihrem Grundstück eine Glasfabrik errichten würden. Weißes Glas wird wohl nicht dabei herauskommen, aber farbiges, braunes, rotes oder grünes. Ihr Boden enthält, in verschiedenen Verbindungen, annähernd 85% Silikate und fast keine organische Substanz. Darum fehlen alle tätigen Bodenmikroben.“

Der Mann war sehr geknickt. Das war eine Auskunft, die er nicht im entferntesten erwartet hatte.

Ich versuchte, ihm zu erklären, daß man Böden dieser Art zwar verbessern könne, aber daß das Geld koste und vor allem Zeit brauche. Die Erde nähme keinerlei Rücksicht auf die berechtigten Bedürfnisse seiner Milchkühe und vermöge nicht innerhalb eines Monats — ein Monat war für ihn die äußerste Zeit, die er seine Tiere noch durchfüttern konnte — die notwendige Alfalfa hervorzubringen.

Dieses Erlebnis — eines unter vielen ähnlichen — veranlaßte mich, meine Erfahrungen bezüglich natürlicher Bodenqualitäten zusammenhängend zu überprüfen. Ich sagte schon in der Einführung, daß sich diese Erfahrungen über fünf, eigentlich sechs Kontinente erstrecken, wenn man die Südseearchipele, die ziemlich einheitlicher Natur sind, als eigenen Kontinent rechnen darf.

Als ich anfing, mich mit den Problemen des Bodens zu beschäftigen, stand es noch nicht fest, daß der Humusgehalt für die Güte des Bodens den Ausschlag gibt. Man klammerte sich allzusehr an die Frage des Mineralreichtums und rechnete nur nach Prozenten an Nitraten, Phosphor, Kali, Kalk. Die Bedeutung der Spurenelemente war noch unbekannt, und die Kenntnis von organischer Substanz, Bodenstruktur, Krümelung, Kapillartätigkeit recht gering.

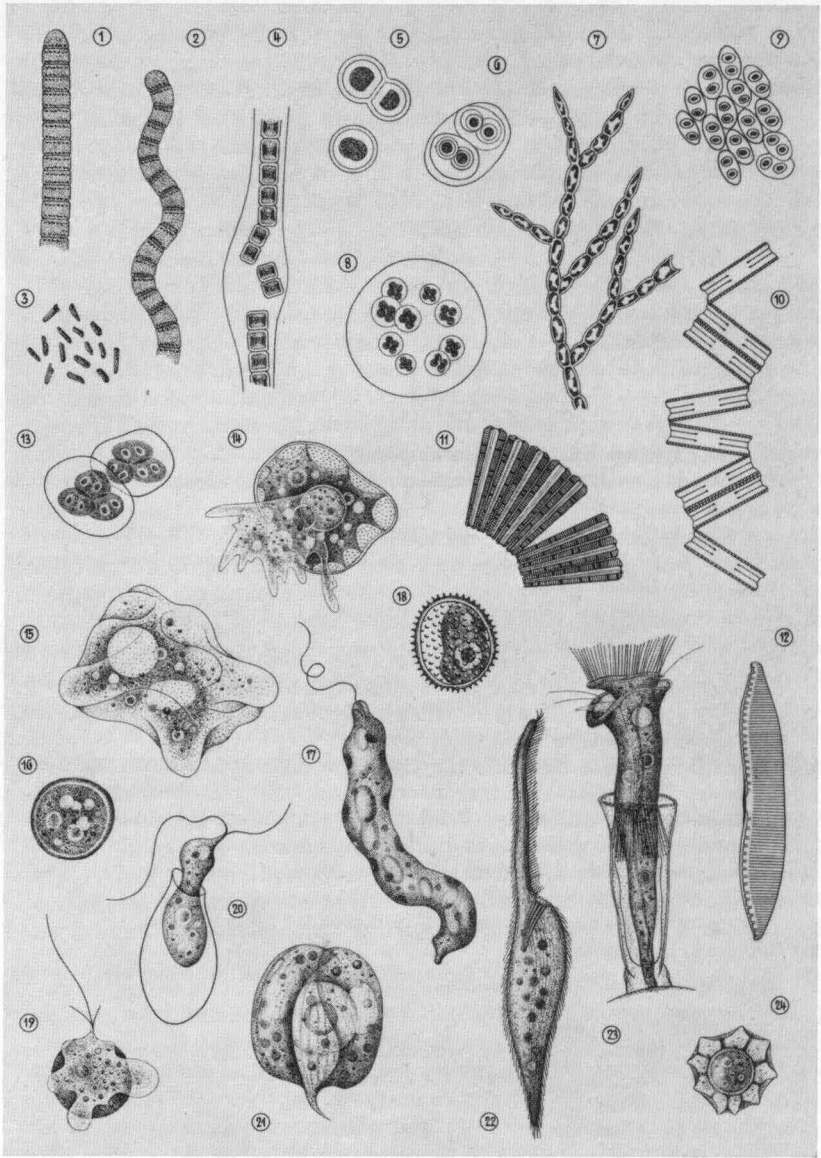
Heute zweifelt niemand mehr daran, daß Fruchtbarkeit und Humus ursächlich zusammenhängen. Auch der Bodenchemiker weiß, daß es wenig nützt, eine Auswahl von Düngersalzen auf sterilen Boden zu streuen.

Die Lösung der Probleme, die die Natur dem Menschen stellt, läßt sich meistens auch der großen Lehrmeisterin selber ablauschen. Allerdings gehören Beobachtungsgabe und großes Wissen um die Natur dazu, um ihre Antworten richtig zu verstehen.

Biologische Gegebenheiten ändern sich, wenn die biologische Umwelt sich ändert. Sie haben grundsätzlich eine höchst instabile Linie, gewissermaßen eine „Bandbreite“. Ein Organismus kann, um sich zu erhalten, so oder ganz anders handeln. Er ist überaus erfinderisch, sobald es um sein Leben oder um das Leben seiner Art geht. Mikroorganismen machen keine Ausnahme. Sie tun innerhalb ihrer Möglichkeiten und mit ihren bescheidenen Kräften alles, was Mikroorganismen zu unternehmen pflegen, um ihr Dasein zu verbessern oder zu schützen. In dieser Hinsicht ist zwischen einem Bakterium und einem Elefanten kein prinzipieller Unterschied.

Bezogen auf die Entstehung und Erhaltung der organischen Substanz des Bodens bedeutet das also, daß man sich mit der Frage nach dem ursprünglich vorhandenen oder für uns erreichbaren Optimum eben doch wieder dorthin wenden muß, wo alle „Bandbreiten“ biologischer Bodenvorgänge bereits erprobt sind, an die Natur.

Die Natur stellt den unvergleichlichsten Humus her, der geradezu unbegrenzte Fruchtbarkeit hervorruft. Das kann jeder bezeugen, der einmal einen tropischen Urwald gesehen hat. In dieser Welt herrscht nicht das Tier, sondern die Pflanze, die mit verschwenderischer Lebenskraft den Urwald aufbaut.



TAFEL I

Legende auf Rückseite

TAFEL I: EINZELLIGE EDAPHON-ORGANISMEN

- 1 *Oscillatoria tenuis* (Blaualge), Einzelfaden
- 2 *Arthrospira Jenneri*, Blaualge, charakterisiert durch eine langsam schraubende Vorwärtsbewegung
- 3 *Bacterium radicola*, Knöllchenbakterie aus der Saubohne (*Vicia faba*)
- 4 *Ulothrix* (Grünalge), Palmeilenstadium, Bildung eines Gallertschlauches — eine Art passiven Selbstschutzes
- 5 *Chroococcus turgidus* (Blaualge), Einzelzellen in Gallerthüllen vereinigt
- 6 *Gloeocapsa monilana* (Blaualge)
- 7 *Trentepohlia* (Grünalge), zwei charakteristische Lithobionten
- 8 *Gloeococcus mucosus* (Grünalge), kugeliges Gallertlager
- 9 *Gloeotheca monococca*, die Einzelzellen dieser Blaualge in blasenförmigen Hüllmembranen zu Kolonien vereinigt
- 10 *Tabellaria fenestrata*, die zickzackförmige Kettenbildung dieser Erdkieselalge ist ein Beispiel für Schalen- und Eckenkontakt durch Gallertausscheidung
- 11 *Meridion circulare* (Kieselalge), Band aus acht Einzelzellen
- 12 *Hantzschia amphioxys* (Kieselalge)
- 13 *Gloeocystis* (Grünalge), Zellfamilie in blasenförmiger Gallerthülle
- 14 *Arcella spec.*, Bodenwurzelfüßler [Unterseite]
- 15 *Amoeba terricola*, eine Bodenamöbe, in fließender Fortbewegung
- 16 Die gleiche Amöbe encystiert
- 17 *Euglena deses* (Flagellat), im Körperinneren Chlorophyllscheiben und Reservestärke
- 18 Cyste einer Euglenen-Art
- 19 *Oikomonas termo*, Monade mit vorgestreckten Nahrungsvakuolen
- 20 *Bodo spec.* (Flagellat) aus der Cyste kriechend
- 21 *Phacus spec.* (Flagellat)
- 22 *Dileptus anser* (Infusor)
Thauricola folliculata (Infusor), in Gallertgehäuse mit fibrillärer Verschußklappe
Cyste eines Bodeninfusors

Wer im Urwald lebt, muß mit dem Stück Urwald fertig werden, in dem er sich niedergelassen hat. Nur der Eingeborene paßt sich von Geburt diesem grünen Paradies an — er ist ein Teil von ihm —, während es für den Zugewanderten meist ein verfluchtes Paradies mit vielen Schlangen darin bedeutet. Ganz andere Lebensbedingungen gewohnt, vermag er es nicht, sich der Natur einzuordnen, sondern er nimmt den Kampf mit dem Urwald auf. Es ist ein erbitterter Kampf zwischen Urwald und Kolonist, in dem schließlich der Kolonist siegt, weil er sein Stück Urwald ausrottet, ehe es ihn verschlingt. Anders vermag er ihm nicht den unbeschränkt fruchtbaren Boden abzuringen, der ihm Lebensexistenz garantieren soll.

In dem Buch „Die letzte Chance für eine Zukunft ohne Not“ (Bayer. Landwirtschaftsverlag, München) habe ich ausführlich begründet, warum ich solche Methoden für absolut verwerflich halte. Die zunehmende Verwüstung der Welt gibt mir leider recht. Dennoch benimmt sich der Mensch, wenn er in einen noch Unberührten Urwald kommt, immer noch als der gleiche Berserker gegen die Natur. Erst die Generation von heute fängt endlich an, darüber nachzudenken und steht traurig vor den Resten einer uns heute schon nicht mehr vorstellbaren Fruchtbarkeit des Bodens, wie sie unsere Vorfahren erlebt haben.

So bleibt uns keine andere Wahl, als im eigensten Interesse zu fragen: Wie stellt die Natur das Übermaß von organischer Substanz her, von der die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt?

Der tropische Urwald kann seine umgesetzten Abfälle nicht restlos aufbrauchen. So kann er Humus speichern. Zwar sammeln alle Wälder Humus an — sie sind die einzige Formation, die dazu imstande ist. Aber erst im Verlauf von Jahrtausenden können sie wirkliche Humuslager bilden, wie z. B. der „Tschernosjem“, die Ukraine, einmal eines gewesen ist. Sie wird nur von den indischen Baumwollböden der Tiefebene mit einer 6 m hohen Humusschicht übertroffen.

Die Zelluloseverrottung wird in der Hauptsache von „wärmeliebenden“ (thermophilen) Organismen durchgeführt. Sie erzeugen Wärmegrade von 40 bis 50° C. Wenn sie eine Verrottung einleiten, steigt die Temperatur schon in den ersten Tagen auf 75-80° C. Heubrände, Mistbeettemperaturen, Erwärmung von Pilzbeeten entstehen durch diese Erststadien der Verrottung.

Naturhumus bildet sich zu 50—70% aus Zellulosen, Pentosanen, Ligniten und Ligninen und den in den Pflanzen enthaltenen Zuckern, Fetten, Wachsen, Gerbstoffen, Säuren, Alkaloiden, Saponinen und verschiedenen Wirkstoffen. Aller Waldhumus ist in erster Linie auf den Betriebsstoffwechsel der Pflanze und nicht des Tieres eingestellt. Darum kann der Stallmist mit seinem großen Anteil tierischer Ausscheidungen und die reine Minereraldüngung der natürlichen Humusbildung nicht entsprechen.

Der Bodenwissenschaft ist das natürlich nichts Neues. Für die Praxis des

Landwirts aber ergibt sich daraus, daß Stallmist erst „humifiziert“ werden muß, ehe er zur Düngung verwandt wird, denn die im gesunden Boden vorhandenen Mikroben sind hauptsächlich auf die Verrottung reiner Zellulose und weniger auf die der tierischen Exkreme eingestellt. Leider haben ganze Generationen fleißiger und tüchtiger Bauern vor uns diese Tatsache nicht erkannt und deshalb unberücksichtigt gelassen.

Der Urwald ist imstande, 2 m hohe, mitunter auch höhere Humusreserven zu speichern, auf denen er wie ein Geiziger — buchstäblich — sitzt, ohne sie anzugreifen, solange man ihn seinen eigenen Lebensgesetzen überläßt.

Der Urwaldhumus kann aber auch so rasch au/gebraucht roerden, daß es zu einer nennenswerten Speicherung überhaupt nicht kommen kann.

Diese beiden Beobachtungen widersprechen sich nur scheinbar. Dort, wo die Eigenwärme der Zelluloseverrottung durch ein äquatoriales Klima unterstützt wird, ist die Produktion von Bodennährgasen (Kohlensäure, Stickstoff) außerordentlich erhöht. Das wieder hat jenes fast fieberhaft anmutende Wachstum der Pflanzen zur Folge, das in gesteigertem Ausmaß Humus verbraucht. Das große Rad des Lebens läuft dann sozusagen in einem hektischen, stürmisch beschleunigten Tempo. Die Reserven werden ständig aufgezehrt. Die langsame mineralische Umsetzung hält nicht Schritt mit der raschen organischen Verrottung. Es entstehen bald Zonen saurer Versumpfung, die keinen Humus mehr bilden können. Sie sind charakteristisch für alle feucht-heißen Urwälder.

Vollzieht sich die Zelluloseverrottung aber bei der dem Vorgang eigenen natürlichen Temperatur, so ist ein ungestörter Ablauf garantiert, der Humusreserven zu bilden vermag. Die Versäuerung ist minimal. Anstelle von Faulschlammstümpfen spiegeln klare Waldseen.

Beide Vorgänge sind jedoch nicht scharf voneinander zu scheiden. Es gibt vielerlei Zwischen- und Übergangsformen. Es ist auch von Bedeutung, ob es sich um junge oder alte Urwälder handelt, ob sich die Urwaldgebiete auf dem Schwemmland wandernder Ströme angesiedelt haben, oder ob sie Kalk, Urgestein oder Schiefer als Untergrund haben. Das alles beeinflußt die Art der Humusspeicherung, ihr Tempo und ihren Verbrauch.

Zahllose andere Faktoren verändern auch ohne menschlichen Zugriff die Situation eines Urwaldes, so daß keiner dem anderen gleicht, aber der erfahrene Kenner immer noch die lokalen Unterschiede scheinbar ganz übereinstimmender Böden feststellen kann.

Eigenschaften des Naturhumus

Die meisten Dinge unserer Welt werden danach beurteilt, wie sie aussehen, riechen, sich anfühlen, schmecken oder welche Laute sie von sich geben. Diesen fünffachen Sinneseindruck kann man aber nicht überall, so z. B. auch nicht auf den Humus anwenden. Die Sinnesprüfung des Humus beschränkt

sich auf Farbe, Struktur und Geruch. Die mikroskopische Untersuchung erweitert das Bild von Humus unter der vergrößernden Linse.

Chemisch kann man Humus mit den bis jetzt gebräuchlichen Methoden nicht vollständig analysieren. Eine Veraschung sagt nichts über Struktur und Kapillartätigkeit des gewesenen Humus aus. Man erfährt weder, woher die Nitrogenzahl stammt, noch wie das Verhältnis der Organismen untereinander war. Die Reagenzien, die zu chemischen Untersuchungen herangezogen werden: Säuren, Basen, Salze usw. zerstören das Leben und seine Funktionen.

So zeigt uns weder das Mikroskop allein, noch ergibt die alleinige chemische Analyse ein vollständiges Bild vom Humus. Beide Untersuchungsarten ergänzen sich aber sinnvoll. Darum weist ein Überschuß von „unausgereiften“ Nährstoffen stets darauf hin, daß gewisse Mikroorganismengruppen zueinander in Disharmonie stehen.

Die biologische Untersuchung des Bodens bezieht sich auf das lebende Präparat. Es genügt eine einfache Aufschwemmung einer kleinen Probe, die man am besten 12—36 Stunden sich selbst überläßt. In dieser Zeit pflegt sich alles, was an Leben darin ist, soweit zu entwickeln, daß man es feststellen kann. Um einen Begriff von der edaphischen Tätigkeit zu bekommen, muß man in die Lebensvorgänge der Symbiosen und Biozönosen hineinsehen können. Daher muß der natürliche Zustand so weit wie möglich erhalten bleiben.

Die Struktur eines Bodens und die Art der dafür mitverantwortlichen Organismen gibt zugleich Aufschluß über eventuelle Versäuerung sowie über Bodenfeuchtigkeit. Alle Angaben über den Wassergehalt des Bodens bedeuten nur Annäherungswerte, besonders wenn sie sich auf größere Flächen beziehen. Er verschiebt sich ständig innerhalb einer großen Spanne. Die chemische Analyse spricht nur von „Wasser“, wobei sie die Bindungsform nicht unterscheidet. Der Wassergehalt des Bodens stammt aber aus 3 verschiedenen Quellen. Es kann sich handeln um:

1. chemisch gebundenes Kristallwasser,
2. plasmatisch fixiertes Wasser,
3. freies Kapillarwasser des Bodens.

Das alles ändert sich ständig je nach geologischen Voraussetzungen, Grundwasserverhältnissen, Jahreszeit, Klima und Pflanzenbestand. Diese Tatsache ist für die Arbeit des Bodenbiologen manchmal recht erschwerend.

Laboratoriumsversuche geben im Vergleich zur Natur häufig ein falsches, immer aber ein viel zu vereinfachtes Bild. Unzählige organische und anorganische Komponenten machen eine fruchtbare Erde aus, die zweifellos unter den natürlichen Formationen den größten Eigenschaftskreis aufzuweisen hat.

Die Optimalstruktur des Bodens wird als „Krümelstruktur“, auch „Bodengare“ bezeichnet. Bis zu einem gewissen Grad könnte man sie auch „natürliche Kolloidauflöschung“ nennen, denn die organischen Kolloide sind — wahrscheinlich weit mehr als die anorganischen der Tonbildung — sowohl Basis

als auch unentbehrliches Bindemittel der Einzelkornstruktur. Aus diesem Grunde sieht ein guter Humus wie ein elastisches Schwammgewebe aus und fühlt sich auch so an.

Humus ist also eine Formation, aufgebaut aus einer Summe unzähliger Faktoren, die im einzelnen einem stetigen Wandel unterliegen können. Er entsteht durch ein vielfach gekoppeltes Zusammenspiel anorganischer Umsetzungen, organischer Abläufe und Lebensprozesse der bodenbewohnenden Mikroben in ewigem schöpferischen Kreislauf. Er ist im Verlauf von Jahrtausenden geworden. Darum ist es für den Menschen so schwer, hochwertigen Humus herzustellen. Ein befriedigendes Produkt läßt sich nur erzielen, wenn es nach den natürlichen Gesetzmäßigkeiten der schöpferischen Natur gewonnen wird.

Humus wird aus dem Leben vom Leben für das Leben geschaffen. Man neigt dazu, unter „Humus“ in erster Linie den im Boden vorhandenen Reichtum an organischen Substanzen zu verstehen. Dabei darf aber der Mineralgehalt nicht übersehen werden, der in den bebauten Böden unserer Zeitepoche das Übergewicht erlangt hat, im Gegensatz zu jenen vergangenen Erdperioden, in denen eine gleichmäßig feuchte Wärme Jahrtausende lang die Bildung organischer Bodensubstanz in den riesigen Waldgebieten förderte. Das Verhältnis von organischem zu mineralischem Anteil der Substanz hat sich zu Ungunsten des Bodens verschoben.

Ein Idealboden sollte folgende Zusammensetzung aufweisen:

65% organische Substanz

20% edaphische Organismen

15% Mineralsubstanz.

Aber es gibt auf der Erde praktisch keinen solchen Überfluß an organischer Substanz mehr, höchstens noch in nie betretenen Winkeln tropischer Urwälder, keinesfalls aber bei unseren Kulturböden.

Durch eine systematisch betriebene Humuswirtschaft könnte man aber in absehbarer Zeit das organisch-anorganische Gleichgewicht der Kulturböden wieder herstellen.

Umstellung auf Humuswirtschaft bedeutet allerdings für die Landwirtschaft eine einschneidende Revolution, weit größer als sie Liebig seinerzeit auslöste. In vierzigjähriger praktischer Arbeit konnte ich mich davon überzeugen.

Dem Landwirt von heute steht kein Idealboden mehr zur Verfügung. Jeder Boden, der einmal, und wenn auch nur kurze Zeit, bebaut wurde, verändert sich so, daß sein ursprünglich organischer Überschuß einem mineralischen Überschuß Platz macht. Auch wenn die Bebauung aufhört, bleibt diese Veränderung noch lange weiter bestehen.

Mit anderen Worten nennt man dieses Geschehen Bodenverarmung, Bodendegradierung. Es ist eine Krankheit, langwierig und schwer heilbar. Sie ist aber vermeidbar, wenn die Naturgesetze des Bodens von Anfang an beachtet werden. Als der Mensch begann, Ackerboden zu schaffen, mußte er noch

nicht, daß die Erde nicht unerschöpflich war. Bis vor 200 Jahren wurde dem Boden nichts hinzugefügt, seit etwa 200 Jahren düngt man mit Viehausscheidungen und vor 100 Jahren fing man an, die anorganischen Verluste durch Handelsdünger zu ersetzen. Nur in China wird schon seit langem Dünger angewendet, und zwar organische Substanz in Form von menschlichen Fäkalien, weil die Viehwirtschaft nicht genügend lieferte. In allen anderen Kontinenten wurde einfach Raubbau getrieben, so lange er möglich war.

Der Humusschatz zerschmolz wie Butter an der Sonne. Übrig blieb die mineralische Basis, die ursprünglich nur einen Bruchteil ausgemacht hatte. Sie wurde dominierend im Boden. Eine übermäßig hohe Mineralkomponente aber bewirkt, daß er allmählich versteint, versandet oder betoniert, je nach den geologischen Umständen. Sie führt also zum Tod der fruchtbaren Erde. Gestorbene Erde heißt in allen Sprachen der Welt „Wüste“. Charakteristisch für die Bodenverhältnisse einer Wüste ist, daß ihr die kolloidale Bindung der einzelnen Bodenelemente fehlt, sowohl bei der Kies-, als auch bei der Sandwüste. Ihre Oberfläche bewegt sich in Form von Stein- oder Sandstürmen in Wirbeln dahin oder als wandernde Dünen oder fliegende Bodenwellen. So lange organische Substanz vorhanden ist, gibt es braunschwarze Erdstürme, wie ich einen solchen selber einmal in der mexikanischen Lermalagune erlebt habe, wobei ich im geschlossenen Auto beinahe erstickt wäre.

Das weggefegte Material ist das leichteste der Oberfläche und besteht fast nur aus organischer Substanz, untermischt mit astronomischen Massen von assimilierenden Algen. Ihre Bedeutung bei der Humusbildung ist nicht hoch genug einzuschätzen, denn sie gehören maßgeblich zu den Aufbauern der fruchtbaren Erde. Im Erdsturm werden sie länderweit dahingetrieben, infolge ihrer Leichtigkeit in die Passatwinde mit hinaufgerissen, wo sie oft lange über den Kontinenten kreisen. So wird durch mangelnde kolloidale Bindung der Boden seiner wichtigsten Lebensträger beraubt.

Bei Erhaltung der natürlichen Bodenstruktur gibt es weder Erdstürme noch ein Abwehen der organischen Oberflächensubstanz. Nur die Wüste kennt die ewig umherschweifenden Flugsandgespenster, durch die in einem graubleichen Halblicht die Sonne verdunkelt wird.

Der Mensch greift in die natürliche Bodenstruktur auf zweierlei Weise ein. Zunächst stört er sie durch die ständige Anwendung von Ackergeräten und landwirtschaftlichen Maschinen, die den Boden vor allem in der Zone des organischen Bodenlebens allzu gründlich lockern. Dann entblößt er durch einen Teil der landwirtschaftlichen Tätigkeiten den Boden von seinem notroendigen Pflanzenbewuchs. Diese Entblößung dauert oft ein halbes Jahr und länger an. Beides bewirkt nicht nur eine viel zu große Lockerung der Bodenkrümelung, Zerstörung der wasserpumpenden Kapillaren und ein Verschwinden der Bodenkolloide, sondern auch die gefürchtete Aushagerung, Austrocknung und Verarmung der fruchtbaren Bodenzone.

Schwere Böden lassen sich heute mitunter nur unter Zuhilfenahme nicht

gerade bodenschonender Geräte und Maschinen bearbeiten. Man entschuldigt das damit, daß man dem „immer schwerer werdenden Boden sonst überhaupt nicht beikommen könne“. In Wirklichkeit kann man aber jedem Boden „beikommen“, der genügend organische Substanz hat. Dann hat er lockere Schwammstruktur, die sich nicht mit dem lufttraumlosen Mineralsplitterbrei der sog. „Betonböden“ vergleichen läßt, und setzt keinerlei Widerstand entgegen. Ein Boden ist um so schlechter zu handhaben, je mehr es ihm an organischer Substanz fehlt. Der Bodenruin hat mit dem geologischen Aufbau nichts zu tun. Denn jegliches Gestein ist an der Humusbildung beteiligt. Nur ist der dazu notwendige Zeitraum für die verschiedenen Gesteinsarten verschieden. Silikate brauchen zumeist länger als Kalke oder gar Schiefer. In der Natur spielt das jedoch keine Rolle. Sie rechnet nicht mit menschlichen Zeitbegriffen.

Ein Boden, dessen Struktur einigermaßen in Ordnung ist, besitzt meist 8—10% organische Substanz. Unberührte Urwaldböden haben bestenfalls 20—30%. Es scheint, wenn ich meine Erfahrungen in fünf Kontinenten vergleiche, als bereite sich seit langem eine allgemeine Bodenentartung vor. Nur das Innere ganz ausgedehnter Urwaldgebiete mit besonders günstigen klimatischen Verhältnissen, wie etwa die Hylea am Amazonas, sind noch verschont geblieben. Aber von außen her frißt sich in die noch unberührten Zonen der rodende Waldbrand vor. Schon nach der ersten Bebauung mit Kaffee, Ramie oder Zuckerrohr ist der Boden weitgehend ruiniert.

Die Untersuchung von gutem Humus zeigt stets vereinzelt, locker eingebettete Mineralkristalle, die aber niemals nackt und scharfkantig, sondern gut korrodiert und organisch besiedelt sind. Die schwammige Trägermasse löst sich im Mikroskop in ein charakteristisches Bild auf.

Neben und zwischen kleineren und größeren Detritusflocken spinnen sich zarte Pilzmyzelien, meist mit ganzen Trauben dunkler oder durchsichtiger Sporen bedeckt. Die meisten edaphischen Lebewesen schließen sich zu Lebensgemeinschaften zusammen. Ausnahme machen die bodenbewohnenden beschälten und unbeschälten Amöben, sie sind Einsiedler und sehr gefräßig. Die einzelligen Wimpertierchen springen, schwimmen oder laufen geschickt auf stäbchenartigen Zirren. Eines von ihnen, *Halteria cirrifera*, ist in jedem Präparat eines guten, nicht fäulnisverseuchten Bodens zu finden. Es jagt kleine, grüne Monaden und frißt zuweilen so viel davon, daß es smaragdgrün schimmert. Die meisten Rädertierchen (Rotatorien) leben allein. Sie sind große Räuber. Auch die pflanzenfressenden Nematoden treten immer auf. Sie sind echte Humusbewohner, die *Aphanolaimus*- oder *Dorylaimus*-arten, strenge Vegetarier, während die Vettern weitmäulige und bezahnte Kannibalen sind, die verschlingen, was sie bewältigen können.

Bakterien und Algen aber bilden meist Lebensgemeinschaften, die Zoogloen. Man findet darin neben *Oscillatorien* auch andere Blaualgen, die un-

terschiedlichsten Fadenalgen und grüne Kokken. An den Zoogloen beteiligen sich auch die Kieselalgen, die den Forscher immer wieder mit unbekanntem Lokalformen überraschen. Auch sie assimilieren wie alle blauen und grünen Vertreter der Mikropflanzenwelt. Algen vermögen im Gegensatz zu den Großpflanzen auch im Dunkeln zu assimilieren, d. h. Stärke aufzubauen und Sauerstoff freizusetzen. Der Vorgang spielt sich in Bodentiefe bis zu einem halben Meter ab. Allerdings arbeiten die Bodenalgen in diesen nur gering durchlichteten Schichten mit Farbfiltern (Blaugrün, Lila, Goldbraun, Rotbraun). Der durch den Assimilationsvorgang freiwerdende Sauerstoff kommt anderen Bodenbewohnern zugute. So sucht z. B. der *Azotobacter chroococcum*, ein bekannter und geschätzter Stickstoffmehrer, mit Vorliebe die Gesellschaft grüner Bodenalgen auf.

Immer findet sich zahlreich der *Actinomyces odorifer*, welcher den für gesunde Erde charakteristischen Veilchenduft ausströmt, aber auch diejenigen Cladosporien, die als „Rohbodenpilze“ wegen ihrer Vorliebe für versäuerte Boden lange sehr verrufen waren. Sie, wie die meisten edaphischen Lebewesen, vermögen sich den lokalen Bodenverhältnissen anzupassen. Es gibt dunkelviolette unter ihnen, die sich in einer extrem salzhaltigen Erde wohl zu fühlen scheinen, denn man findet sie fast immer mit einer reinen Salzflora zusammen. Wahrscheinlich ist *Cladosporium* der einzige unter den Bodenpilzen, der mitunter ein solches Medium verträgt. In gutem Humusboden bevorzugen die Pilze Detritusflocken oder größere Zoogloen als Standort. Auf ihnen und um sie siedeln sich dann wieder eiweißliebende Bakterien an.

Flagellaten — ebenfalls Reinbodenformen — wirbeln in einem lockeren Gewebe aus kleinen Zoogloen, Pilzfäden und Detritusflocken, die den Raum zwischen den einzelnen Bakterienkolonien ausfüllen. An dieser Stelle muß erklärt werden, welchen ganz besonderen Wert die Zoogloea für die sich bildende Bodenstruktur hat. Man hat bisher auf diese Tatsachen viel zu wenig geachtet, weil man ja erst seit beiläufig einem halben Menschenalter überhaupt auf die Bedeutung der Krümelstruktur des Bodens aufmerksam wurde.

Unter Zoogloea versteht man eine ständige oder vorübergehende Lebensgemeinschaft und Zusammenarbeit verschiedenster Bodenorganismen. Sie läßt sich nur als eine Gesamtheit betrachten, denn herausgelöst aus der Gemeinschaft leistet das Einzelindividuum nicht das gleiche wie innerhalb derselben. Genau besehen, ist die Zoogloea eine ideale technische Form, die ermöglicht, den sehr differenten Bedürfnissen der einzelnen Teilnehmer bezüglich Ernährung, Verteidigung, bis zu einem gewissen Grad sogar der Fortpflanzung, Rechnung tragend, diese Aufgaben gemeinsam zu lösen. Diese, sowie eine ganze Reihe wenig durchschaubarer biochemischer Vorgänge spielen sich in einem gemeinsamen kolloidalen Milieu ab, das sich die Organismen durch Ausscheidung gemeinsam schaffen. Das ist die Mikro-Umwelt, in der und von der sie leben. Sie bietet Schutz vor den räuberischen Protozoen, vor Rädertierchen und Würmern, die ihre Eier gern in Zoogloen ablegen. Wür-

mer und Fliegenlarven sind kaum imstande, solche von Pilzmyzelien durchwucherte und verfestigte, kompakte Klumpen zu verschlingen. Im Innern der Zoogloea sind alle Bewohner sicher, haben aber trotzdem genügend Bewegungsfreiheit. Das letztere betrifft besonders Bakterien, die nach Art von Kahmhäuten — die letzten Endes oft auch Zoogloeachearakter besitzen — innerhalb der Zoogloea oft noch besondere Kolonien bilden. Es werden dabei von allen beteiligten Individuen Stoffe ausgeschieden, aufgenommen, aufgespalten, so daß sich schließlich eine Art Lebens-Mikrokreislauf herausbildet, an dem jeder teil hat und der jedem nützt. An die Außenseite der Humus-Zoogloea heften sich mit Vorliebe Kieselalgen entweder in langen, kolloidal verbundenen Ketten oder in der bekannten Nadelkissenart fest. Pilzhyphen werden von Bakterien und kleinen Monaden besiedelt, auf die wieder größere Ciliaten, Stylonychia, Euplotes u. a. Jagd machen. Zuweilen steckt ein Dileptus anser seinen langen, schnüffelnden Schlangenhals zwischen hauchdünn gekrümelten Detritus. Die großen Rädertiere versuchen gerne, solche transparente Gewebe zu zerreißen. Es gelingt ihnen aber nur selten. Dafür treiben sie sich meist an den Außenrändern herum. Die Teilnehmer einer Zoogloea können wechseln, sie kommen neu dazu und verschwinden wieder, aber die Zoogloea bleibt erhalten. Sie ist eine so optimale Lebensform, daß sie im Boden, in den Verlandungszonen, selbst in stehenden Gewässern leben kann.

Für alle Mikroben, Pflanzen und Tiere, bedeutet die Teilnahme an einer Zoogloea nur Vorteile. Von den allerkleinsten dieser Bildungen kann man sagen, daß sie „monozoetisch“ sind, denn sie bestehen zumeist nur aus Bakterien ein und derselben Art. Häufig beginnen sie mit 3, 5, 10, 12 oder 25 und mehr Micrococcen, Kurz- oder Langstäbchen, die fast bewegungslos dicht nebeneinander geschmiegt liegen. Ein gemeinsamer Kolloidschleier umgibt die lebende Kugel. Er ist durchlässig für Gase und Flüssigkeiten, die samt den eigenen Ausscheidungen der Ernährung der Insassen dienen.

Solche homogenen Kleinzoogloeen erreichen selten einen größeren Umfang. Nur in gezüchteten Monokulturen auf den Ausstrichplatten des Labors schwellen sie zur Sichtbarkeit für das menschliche Auge an. Aber in der Natur im allgemeinen und im Humus im besonderen gibt es keine Monokulturen, denn Leben ist immer auf Vielfältigkeit ausgerichtet und angewiesen. Größere, ausschließlich aus Bakterien oder gar nur aus einer Bakterienart bestehende Zoogloeen, sind im Humus unter normalen Umständen fast nie zu finden. Tauchen sie dennoch einmal auf, so sind sie ein sicherer Test dafür, daß noch Fäulnisherde vorhanden sind oder neu eingebracht wurden. Meist erkennt man solche Zersetzungsgemeinschaften an ihrer Struktur. Für gewöhnlich sind sie nicht sehr fest zusammengeschlossen, ihre Kolloiddecke sieht oft nur Schleier- oder wolkenartig aus. Im allgemeinen legen sich nur die Sarcinaarten zu festen Platten zusammen. Durch die grünen Schwefelbakterienschleier passieren größere Protozoen ohne weiteres hindurch, ebenso durch die hauchartigen Gallerten des großen Bacterium Megaterium.

Letztere schweben fast völlig transparent in Flüssigkeiten, die faulende Stoffe enthalten und gelangen auch mit Mist oder ähnlichen Abfällen in die Böden. Große Geobionten wandern, oft in Zügen, durch solche Bakterienwolken hindurch, aber sie siedeln sich nicht darin an.

Die Zoogloea erweitert sich immer mehr durch ständigen „Zuzug“ von neuen Mikroorganismen. Arten, die in keiner Weise zusammengehören und sonst ausgedehnte Lebensräume nur ganz zerstreut besiedeln, tun sich hier zusammen. Im Humus auf silikatreichen Böden setzen sich an den Außenrändern mit Vorliebe Diatomeen der Gomphonema- und Licmophora-Arten als pendelnde Fächer aneinander. Dazwischen sprießen blaugrün schwingende Oszillatoren. Bei genügender Bodenfeuchtigkeit findet man auch die hellgrünen Fadenalgen. Die formenreiche Liliputgruppe der „autochthonen Mikroflora“ oder des „Nannedaphons“, zahlreich wie Sand am Meer, tritt auf an jedem Platz und in jeder Gesellschaft. Bei Böden mit reichem Edaphon macht sie zuweilen den vierten oder fünften Teil der ganzen Besiedelung aus. Man weiß von ihren Gliedern nicht allzuviel. Aber sie scheint auch eine Formation innerhalb einer großen Formation zu sein. Viele ihrer Mitglieder fluoreszieren. Sie wiederholt im kleinen alle die Kugeln, Stäbchen, Fäden und Keulen der Einzeller aus der Großformation, nur daß der Größenunterschied etwa dem Verhältnis einer jungen Katze zu einem ausgewachsenen Elefanten vergleichbar ist.

Außerdem werden alle Zoogloeen als Keimbett für Sporen, Zysten und Eier verschiedenster Herkunft benützt. Wurmeier, Larven von bodenbewohnenden Kleinfliegen, Liliputmücken, Milben usw. finden hier stille Orte zur Entwicklung. Zuweilen lassen sich auch in den äußeren Zonen beschaltete Amöben nieder, meist Trinema-, Gromia- oder Diffugiarten. Im Boden reichen sie selten über mittlere Größe, während sie in faulem Pflanzenmaterial zu gigantischen Formen auswachsen.

All dieses scheinbar ganz unzusammengehörige Bodenleben, das aber in Großgruppen doch einigermaßen stationär bleibt, umschließt die gemeinsame Gallerthaut wie ein Wohnzelt. Immer wird nach einiger Zeit etwas Detritus, faden- und flockenförmig, zwischen die Schichten der Kolloide eingelagert. Darin finden sich stets aller kleinste Partikel von Holz, Pflanzenfasern und Bodenkristallen. Sie werden so lange darin festgehalten, bis sie von den an sie angehefteten Bakterien völlig aufgezehrt sind.

Humus ist nach alledem nicht nur eine physikalisch-chemische Angelegenheit, bei der Tone, Humussäuren, Humuskomplexe, Reste von organischem Verwesungsmaterial die einzige Rolle spielen, sondern die größte Bedeutung kommt dem Anteil an Bodenorganismen und deren aktiver Arbeit zu. Leben und Arbeitsleistung der Mikroorganismen werden durch die Gemeinschaft in der Zoogloea erleichtert und gesteigert. Der Einzelorganismus hat sich im Laufe von Jahrtausenden auf das gemeinsame Leben innerhalb des Gallertmantels eingestellt. Dieser Gallertmantel ist jedoch bis heute weder morpho-

logisch noch chemisch ganz erforscht. Bei dem einzelnen Bakterium erfüllt er folgende Funktionen: Gleitschutz, Wasserspeicher, Gasfilter, Schutz vor Eintrocknung, Frostsicherung, Temperatenausgleich, Strahlensammlung und Lichtreflexion. Arktische und Thermoalgen können vermutlich überhaupt nur durch ihren Gallertmantel leben. Die Zoogloea selbst schafft sich das gemeinsame kolloidale Medium, das die Nahrungsstoffe in langsam zirkulierenden Bewegungen an jeden einzelnen Teilnehmer heranbringt, einen gleichmäßigen Flüssigkeitsdruck dauernd erhält und vor dem Weggeschwemmtwerden sichert. Die in kleinste Teile zerfallende feste Materie, welcher Art sie auch immer sei, wird durch sie gleichsam in elastische Netze eingefangen, ehe sie dem Wiederaufbau verlorengeht. Nur durch diese Einrichtung kommt sie den umsetzenden Organismen zugute und wandelt sich mit ihrer Hilfe in organische Substanz.

Die Hauptnutznießler außer den beteiligten Mikroben selbst sind die Pflanzenwurzeln. Dort, wo sie weder Knöllchenbakterien wie bei den Leguminosen besitzen, noch eine Mykorrhiza aufweisen, erfolgt mit Hilfe von Zoogloeen die Nahrungsvermittlung, Feuchtigkeitsaufnahme und Bodenerschließung und zuletzt trägt die Zoogloea auch bei zu einem sicheren Stand. Früher nahm man an, daß die feinen Adventivwurzeln und Wurzelhaare wahllos mit Erdkrümchen oder Bodenkristallen verwachsen seien, um Flüssigkeit in die Stengel hinaufzupumpen und den oberirdischen Pflanzenteil fest zu verankern. Zahllose vergleichende Studien und Beobachtungen aber haben mich davon überzeugt, daß die Wurzelspitze immer in einer Zoogloea Nahrung und Halt sucht. Wurzelhaare, besonders längere, betten sich — wenn irgend möglich — in eine Zoogloea und die ganze Feinwurzel wächst durch so viele Zoogloeen hindurch, als ihr eben nur erreichbar sind. Sie ist das „missing link“ zwischen Boden und Wurzel. Denn in gutem Naturhumus vermag sie vermittels der Zoogloeen auf kleinstem Raum und in optimaler Konzentration alle vorhandenen Nährstoffe zu nutzen.

Darum ist die Zoogloea gewissermaßen die Basis, auf welcher sich der Humus aufbaut. Sie ist seine erste Stufe, sowohl biotechnisch, als biologisch. Alles, was im Boden aufzuschließen ist, geht über sie, ob es sich nun um Organisches oder Anorganisches handelt. Darum hängt die Bodengare, die ihrerseits wieder an die Krümelstruktur des Humus geknüpft ist, vom Reichtum der Erde an Zoogloeen ab. Die Detritusbildung, die mit einem Vorstadium als Protodetritus beginnt, geht wieder der „Lebendverbauung des Bodens“ voraus. Die Entwicklungslinie: Zoogloea — Protodetritus — Detritus — Humus wird immer eingehalten. Sie ist eine notwendige Stufenfolge, ein System der Zuordnung einzelner Stadien und Lebensgemeinschaften, das man heute durchschauen und auf dem man aufbauen kann.

Humus ist eine Formation — ich wiederhole es hier nochmals — nicht zufällig und chaotisch entstehend, sondern mit geordneten Phasen, mit biotechnischen Normen, mit Lebensdauer, Aufbau und Abbau, mit gesetzmäßigen

Funktionen und Arbeitsteilung und als Ganzes eingefügt in die sich ständig durch ihn selbst erneuernde Fruchtbarkeit der Erde.

Protodetritus kann man als die zweite Phase der Humusentstehung bezeichnen. Er kann sich nur bilden auf der Vorstufe der Zoogloeen, nicht aber, wenn sich die Bodenfläche in jenem ersten Zustand von Fäulnis befindet, der immer für längere oder kürzere Zeit entsteht, wenn man ihn mit Stallmist, rohem Müll, Abwässern oder Jauche überlagert oder überschwemmt. Die Zoogloeen erweitern sich durch den Anschluß ganzer Kolonien von Bakterien und Micrococcen. Der Vorgang läßt sich vergleichen mit der Aufsaugung umliegender Dörfer und Vororte durch eine Großstadt.

Ursprünglich ist die Zoogloea durchsichtig oder schimmert in grünlicher Fluoreszenz. Diese Farbe wandelt sich allmählich in ein fahles Lehmgelb oder in einen rostbraunen Ton, was indes keinen nachträglichen Fäulniszustand anzeigt. Zoogloeen, die Humus bilden, sind meist schon oligosaprob, d. h. sie gehören dem Reinboden an. Sie besitzen stets ein pH von 6,8-7. In diesem Stadium gibt es keine Zersetzung im großen mehr, nur höchstens da oder dort einen kleinen lokalen Prozeß der Aufschließung einiger Restzellulosen. Der Humusaufbau wird durch eine Mikrobenflora bewirkt, die sich streng scheidet von derjenigen, die den Abbau vollzieht. Oligosaprob bedeutet „Jenseits aller Fäulnis“. So wie es ein Reinwasser gibt, so gibt es auch einen Reinboden. Humus ist ein Reinboden. Er ist als Ganzes „oligosaprob“. Diese Tatsache hat einen eminenten praktischen Wert. Im Humus leben keine pathogenen Keime. Diese gehören ausnahmslos der Phase des Abbaues an, die guter Humus längst hinter sich hat. Das Edaphon benötigt zu seiner Existenz Luftstickstoff, Kohlensäure und besonders Sauerstoff.

Die dunkle Farbe des Protodetritus entsteht durch die grauen und braunen Humussäuren, chinonartigen Verbindungen und Kohlenstoff und sehr differente Huminstoffe. Diese wieder entstammen dem Abbau von Zellulosen, Ligninen, Gerbstoffen usw. Für die meisten Geobionten sind diese kaum angreifbar. Es siedeln sich auf ihnen meist nur Bakteriengruppen mit Spezialbedürfnissen an, immer auch Pilze, vor allem Schimmelpilze, die sich darauf spezialisieren. Diese ernähren wiederum vereinzelt Wimpertierchen, vor allem viele beschaltete Amöben. Die ganze Welt der Rhizopoden überhaupt ist von der Zelluloseaufschließung unzertrennlich.

Alle „Bodenmelanine“ sind sehr eiweißreich. Für den späteren Humus ist es also von großer Wichtigkeit, daß sie möglichst reichlich von Zoogloeen eingelagert werden. Da deren eigene Struktur meist kolloidal ist, nimmt sie leicht Kolloide auf. Man kann die Zoogloea mit Recht als natürlichen Vorratsspeicher für Kohlenstoff und Eiweiß ansehen, die nicht leicht zugänglich, auch nicht leicht auswaschbar sind. Sie bauen für die Pflanzenwurzel das auf, was man „Dauerhumus“ nennt. Die Pflanze bemächtigt sich seiner wieder mit Hilfe symbiotischer Zoogloeen.

An sich werden im Protodetritus nur wenige eigentliche Restmaterialien

eingelagert. Trotzdem verdichtet sich die Masse. Sie wird bewohnt von fast allen Bodenmikroben, die darin leben wie in einem Liliputschlaraffenland. Die erste Entwicklung von Sporen, Zysten, Auxosporen, Konidien, Eiern verläuft mit Vorliebe in den Flocken von Protodetritus, weil hier ein nährstoffreiches Keimbett vorhanden ist. So findet hier gewissermaßen eine Regulation des Nachwuchses statt. Wenn nicht genug Protodetritus gebildet wird, so ist es auch um den Nachwuchs schlecht bestellt.

Daneben vermehren sich Raubinfusorien, Diatomeenketten und Pilzmyzelien. Actinomyces und Proactinomyces verengen mit wirren, lockeren Fadenknäueln die leeren Stellen zwischen den einzelnen, immer dunkler werdenden Flocken. So verwandelt sich das ganze organisch-anorganische Gebilde langsam in eigentlichen Detritus, der schon die Vorstufe zum Humus ist. Dieser Umwandlungsprozeß ist eine Phase des Gesamtprozesses, gekennzeichnet durch Zunahme der organischen Substanz und der Organismen, Vermehrung der Kolloide, reichere Lebensformen und größere Stabilität. Tausende, Hunderttausende von Protodetritus- und Detritusflocken, vollgesaugt von Leben, ergeben schließlich jene feine, gleichmäßige Krümelstruktur, jenes organische Schwammgewebe mit idealer Lüftung und idealem Wasserhaushalt, auf dem die Fruchtbarkeit unserer Erdoberfläche beruht.

Die Reinigung vom natürlichen Anfall aller Fäulnisprodukte, die es in jedem gesunden Boden gibt, geschieht auf mancherlei Weise. Die Bakterien leisten überall erste Arbeit bei der Auflösung toter Gewebe und verwandeln sie in mehr oder weniger hoch angereicherte Flüssigkeiten. Es gibt da recht sonderbare Zusammenhänge. Der Darm eines jeden Lebewesens ist ein Aufenthalt aller nur denkbaren Abbauer, erwünschter und unerwünschter. Sie sind nötig, um die Nahrung so zu zersetzen, daß die Darmzotten diese aufnehmen können. Nach dem Tod ihres Wirtes erwachen aber leichenverzehrende Mikroben aus einem inaktiven Stadium und fangen an sich zu vermehren, indem sie den einstigen Lebensträger zerstören. Bei jedem Kadaver fällt daher der Eingeweidetrakt zuerst der Verwesung anheim.

So gibt es z. B. polysaprobe Nematoden, die alle zur Familie Rhabditis gehören und nur in fortgeschrittener Eiweißfäulnis leben. Sie übernehmen den Abschluß der Zersetzung, den die Larven von Aasfliegen, Aaskäfern usw. übriglassen, wenn sie nach rascher Verpuppung den Ort ihrer Entwicklung verlassen. Unter den polysaproben Ciliaten, die sich jederzeit finden, besiedelt das sog. „Halstierchen“ (*Lacrimaria olor*) in Scharen verwesende Eingeweide. Es fängt sich anscheinend nur die massenhaft tätigen Bakterien heraus, trägt aber auch selbst zum Zerfall der Gewebe bei. Alle diese polysaproben Abbauer scheiden, wie es scheint, Stoffe aus, die zum schnelleren Abbau beitragen. Es dürfte sich dabei um Enzyme handeln, die in erster Linie der Verdauung der Bakterienbündel dienen, mit denen sie sich ununterbrochen den „wandernden Magen“ beweglicher Vakuolen vollstopfen.

Sie alle bilden Lebensgemeinschaften, deren gemeinsame Tätigkeit darin besteht, Kadaver aller Art schleunigst wegzuschaffen. Dabei erfolgt eine Infektion des Bodens nicht nur durch Fäulnisprodukte, sondern auch durch ganze Klumpen von Fäulnisorganismen. Beide bleiben aber lokal und gleichen sich in erstaunlich kurzer Zeit wieder aus. Man kann mit vollem Recht von „Fäulnisinseln“ im Boden sprechen, in denen im Eilzugtempo durch ein ganzes Netz gegenseitiger Beziehungen des Aufeinanderangewiesenseins einzelne Organismen zu Heeren anschwellen. Nichts verbindet sie, als die Gier, für sich und ihre Nachkommenschaft ihren Teil an der Zersetzung zu sichern. Die Zersetzer sind selber gleichzeitig Angreifer und Angegriffene. Jede Phase der Aufschließung von Fetten, Haaren, Federn, Bindegeweben, Knorpeln usw. findet ihre besonderen Liebhaber. Die Ammoniakbildung wird so ausgiebig von allen ausgenützt, daß die rohen Eiweißabbauprodukte nicht nur von den vielen, rastlos arbeitenden Bakterien und der von ihnen lebenden großen Biozönose, sondern auch von Käfern, Kleinschmetterlingen, Würmern, Schnecken und den verschiedensten Maden und Urinsekten aufgezehrt werden. Es ist eine bewundernswerte Organisation zeitlicher und räumlicher Arbeitsteilung für den Rücktransport alles aufgebrauchten Organischen in den Humus, wo es zu neuem Leben gewandelt wird. Sonst müßten wir ersticken in der Oberfläche der Verwesung. Eine ganz spezielle Rolle ist den Fliegen und Fliegenmaden dabei zugeteilt. Viele von ihnen werden von den Larven der Totengräber, die schon als berufsmäßige Mörder geboren werden, überfallen und aufgefressen. Diese machen den Boden zum Schlachtfeld und vertilgen rücksichtslos alles, was sie finden. Die Aasfliegenlarven wieder rücken den Bakterien, die sie als Konkurrenz empfinden, durch ein Hautsekret zu Leibe, das diese tötet, sobald genügend in der Proteinflüssigkeit vorhanden ist, die von den Maden aufgesaugt wird. Was übrig bleibt von Zersetzern und Zersetzung sind aber noch keine Stoffe, aus denen direkt Humus entstehen kann. Die Menge der Fäulnisverzehrer verliert ihre Lebensberechtigung und auch ihre Lebensmöglichkeit, sobald kein Plasmaabbau mehr nötig ist. Die Insekten verschwinden, nachdem sie in der Rekordzeit von 2—3 Wochen, oft sogar noch schneller, ihre ganze Entwicklung vom Ei zum Flieger durchlaufen haben. Schließlich ist ihre Vermehrung ja nicht an einen und denselben Ort gebunden. Sie werden durch ihre feine Wittrung auf andere Abfallstellen aufmerksam gemacht. Die Würmer kriechen weg, die Käfer entfernen sich. Sie besitzen keine ortsgebundenen Arbeits- und Fortpflanzungsplätze.

Mit den Bakterien wandern auch die auf sie angewiesenen Protozoen und Nematoden aus. So bleiben schließlich zurück: Kohlensäure, Wasser, Stickstoff und Phosphorverbindungen, etwas Kalk, Salze, Kohlenstoff, von speziellen Wirkstoffen häufig nur Hormone. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis, das ja von Natur aus höchst instabil und veränderlich ist, sinkt nach einer kurzen, markanten Erhöhung der Nitrogenzahl unter normalen Umständen wieder auf 10:1 herab und geht damit auch mit pH 7—8 konform. Der Ausgleich

ist wieder hergestellt. Die Bodenanreicherung kommt dem Edaphon zugute, der organischen Substanz, der verbesserten Luft-, Wasser- und Stoffverteilung, von der erst die Pflanzenwurzel und dann das oberirdische Gewächs profitieren können. Bei gesunden Bodenverhältnissen wird kaum ein Depot einzelner Mineralstoffe angelegt.

Die Zeit, in der sich solche Umsetzungen vollziehen, kann recht verschieden sein. Schon die einzelnen Abschnitte sind sehr variabel. In tropischen Urwäldern muß man mit 3—5 Wochen, mitunter sogar mit kürzeren Zeitspannen rechnen. Sehr zellstoffreiches Material kann aber auch ein halbes bis zu 10 Jahren liegen, ohne sich wesentlich zu verändern. Aber immer ist eine unüberschaubare Vielfältigkeit von Organismen tätig, um die scharfen Grenzen von Leben und Tod ständig zu verwischen. Alle sind aufeinander abgestimmt und eines ist auf das andere angewiesen. Kein Glied aus der tausendfach verschlungenen Kette darf fehlen. Kleinpflanzen und Kleintiere bis zu den Bakterien, Bakteriophagen und Viren hängen mit ihrer Existenz von Großpflanzen und Großtieren, nicht zuletzt auch vom Menschen ab. Die Auflösung der höheren Organismen gibt ihnen die Vorbedingungen ihres Daseins. Und zuletzt endet alles im Humus. Der Humus nimmt nicht nur die organischen, sondern auch die anorganischen Restprodukte auf, die die Feinerosion liefert. Dadurch umfaßt er den ganzen Kreislauf der Erdbaustoffe, die, ständig durch ihn verwandelt und rückverwandelt, ihn durchwandern.

Von größter Bedeutung bei der Humusbildung ist der Regenwurm, von dem es in den feuchten Tropen bis zu halbmeter lange Arten gibt. Infolge seiner Größe gegenüber den zahllosen ihm verwandten Kleinwürmern (Enchytraeiden usw.) ist er bei den Landwirten und Gärtnern bekannt und geschätzt.

Die manchmal auch heute noch anzutreffende Verfolgung des Regenwurmes (*Lumbricus terrestris*) ist auf Unkenntnis und mangelhafte Beobachtung zurückzuführen. Aber in den meisten Kulturländern lernen heute schon die Kinder in der Schule, daß der Bauer den Regenwurm als unentbehrliches Bodenhaustier zu betrachten hat. So wurden sogar Regenwurmfarmen angelegt.

Das Märchen von dem „Wurzeln abfressenden Regenwurm“ ist allerdings (z. B. in Mexiko) leider noch weit verbreitet. Es wird nicht ganz leicht sein, es auszurotten. Durch eine Schülerin meines Mannes wurde bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts festgestellt, daß der Regenwurm ausschließlich Erde frißt. Er kann bekanntlich überhaupt nicht beißen, da er in seinem kleinen, zahnlosen Mund keine Vorrichtungen dazu besitzt. Er kann nur schlucken, und auch das nur, wenn der Bissen genügend durchfeuchtet ist. Diese, von Rose von Aichberger sehr exakt ausgearbeitete Untersuchung über die Ernährung und das Leben des Regenwurmes, ist die Basis vieler späterer Arbeiten geworden. Man kennt viele Arten von Regenwürmern, z. B. solche, die Dünsand, Streu, faulendes Holz u. dgl. bewohnen, oder andere, die den

Gestank des Misthaufens jedem anderen Aufenthaltsort vorziehen. Sie haben nicht gleiche Lebensgewohnheiten und sind unterschiedlich nach Länge und Farbe. Einige Arten ziehen tatsächlich zuweilen Kiefernadeln oder Fallaub in ihre Röhren hinein. Man hat aber noch niemals gesehen, daß sie dergleichen auch „zernagt“ hätten. Wenn überhaupt, verleiben sie sich derlei nur im Zustand völliger Zermürbung ein. Ihr Hauptunterhalt besteht jedoch aus Erde und - allem, was darin an Leben enthalten ist. Das wissen wir sicher, soweit es sich um den häufigsten Erdregewurm, den rosenroten *Lumbricus rubellus* handelt.

Mineralische Partikel kann er nicht verdauen. Auch von den Bodenorganismen, Algen und Mikropilzen gibt er mehr als die Hälfte in seinen unverhältnismäßig großen und zahlreichen Kotbällen wieder von sich. Seine Verdauung geht so rasch vor sich, daß die meisten Sporen und Zysten sie ohne Schaden überstehen. Dagegen findet man in den Ausscheidungen dieses offenbar pausenlos fressenden Geschöpfes oft eine Sonderbesiedelung von seltenen und empfindlichen Geobionten, die sich geradezu auf diese ideal gekrümelten, mit Eiweißstoffen, wahrscheinlich auch mit Hormonen durchsetzte Masse spezialisieren.

Das alles ist nicht neu. Man sollte aber trotzdem die Frage: „Was frißt der Regenwurm?“ vom Standpunkt des Humus aus noch einmal revidieren. Da sieht das Problem wesentlich anders aus. Es besteht kein Zweifel darüber, daß er sehr viel Detritus verdaut, daß die wichtigen Zoogloeen in seinem Darm zerstört werden, daß die Mineralsplitter, die unverdaut seinen Darm durchwandern, von den auf ihnen angesiedelten Organismenkolonien entblößt werden. Ungefähr alle Bakterien und die autochthone Mikroflora werden verwertet. Beide übertreffen an Zahl bei weitem alle übrigen im Edaphon enthaltenen Lebensgruppen. Man rechnet z. B. 27% Bakterien gegen nur 7% Infusorien und nur 2% Nematoden, nach einer anderen Aufstellung stehen den ca. 1 000 000 000 Bakterien in 1 g gedüngtem Ackerboden (im ungedüngten wesentlich weniger) ca. 100 000 Mikroalgen und nur 10 000 Einzeller gegenüber. Der Regenwurm frißt Humus und lebt von dessen Organismen und dessen organischer Substanz. Er hilft aber auch wieder bei der Neubildung von Humus.

Die Verhältniszahlen zwischen gefressenem und neu gebildetem Humus sind unbekannt. Von den anderen Bodenwürmern wissen wir sie noch weniger. Wir können auch nicht mit Sicherheit sagen, wieviel Regenwürmer auf 1 ha zu leben vermögen, da ja die Böden mit ihrem jeweiligen Untergrund ganz verschieden sind. Davon aber hängt es wieder ab, wie tief er nach unten gehen kann. Vielleicht aber kann man der Intensität der Regenwurm-besiedelung damit näherkommen, daß man seinen durchschnittlichen Bestand auf folgende Weise zu ermitteln trachtet:

Jeder Boden enthält soviel an edaphischen Organismen, als in ihm leben können. Entstehen mehr durch gesteigerte Fortpflanzung, so fallen sie der natürlichen Auslese zum Opfer, was als eine notwendige Regulation anzu-

sehen ist. Wenn ein Boden also eine auffallende Regenwurmarmut aufweist, so heißt das, daß er nicht mehr ernähren kann. Will man mehr Regenwürmer haben, so muß man ihre Existenzbedingungen verbessern.

Regenwurmfarmen stellen sowohl in Europa als in USA dem Landwirt jede beliebige Menge Regenwürmer zur Verfügung. Dieser glaubt nun, seine Ernte falle um so besser aus, je mehr Regenwürmer er in seinen Boden stopft. Das aber entspricht sicher nicht den Gesetzen der harmonischen Bodenbesiedelung.

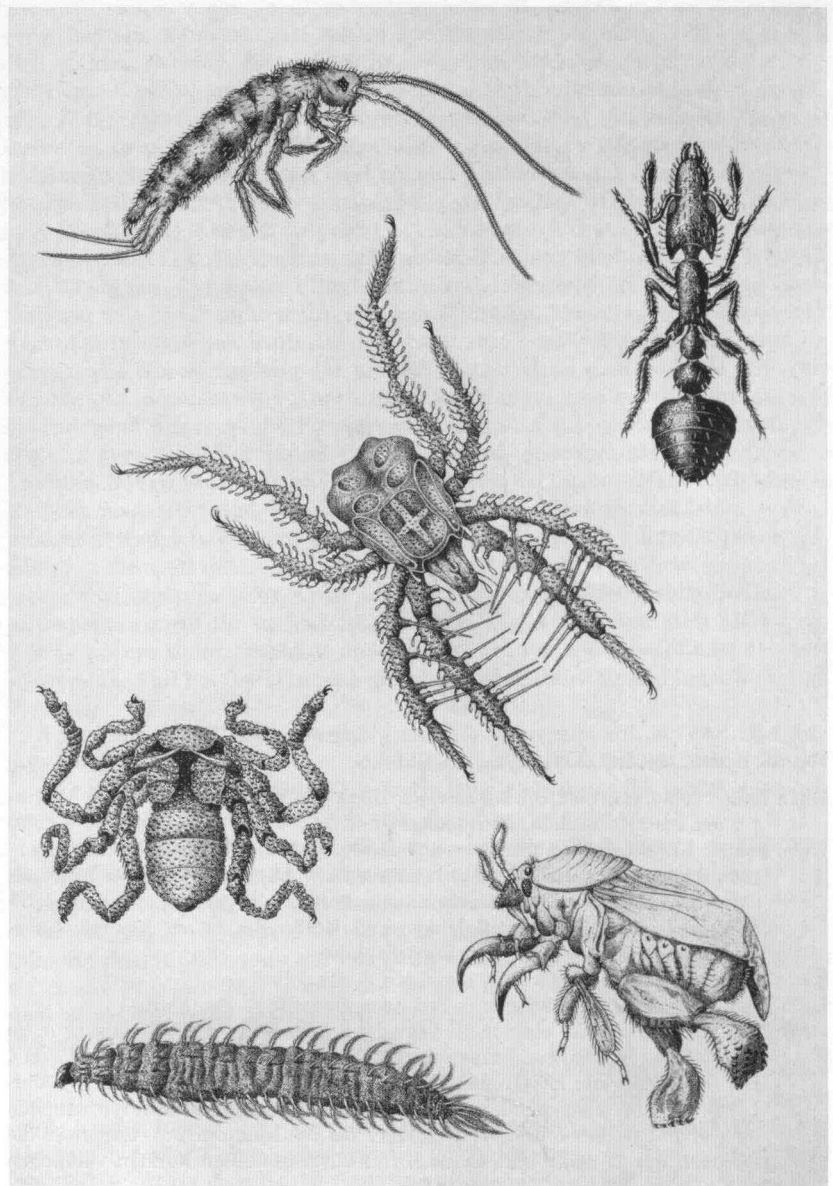
Da auch der Regenwurm, wo immer er lebt, für seine Existenz organische Substanz und Organismen unbedingt nötig hat, werden diese vermindert, wenn plötzlich die Zahl der Würmer um das Mehrfache ihres natürlichen Bestandes anschwillt. Denn der biologische Bodenzustand wird ja nicht gleichzeitig verbessert. Wie jede Störung der Harmonie, rächt sich auch die Überbesiedelung durch Regenwürmer.

Sicher ist, daß durch eine solche künstliche Invasion der einzelne Regenwurm schlechter lebt und daher in seiner biotechnischen Funktion beeinträchtigt wird. Zweifellos wird auch der Humusbestand geschädigt. Die intensive Bodenlüftung durch die Würmer hat wieder ihre Nachteile durch raschere Austrocknung der oberen Schichten. Außerdem ziehen sehr viel Regenwürmer Maulwürfe an, vor allem aber Feldmäuse, die ihrerseits wieder den Pflanzenkulturen Schaden zufügen.

Es wird noch ausführlich zu sprechen sein über die Harmonie der Bodenverhältnisse, als Voraussetzung für ein normales Bodenleben. Alle Faktoren, die im Humus eine Rolle spielen, organische und anorganische, müssen miteinander harmonisieren. Der erzwungen gewaltttätige Standpunkt, auf den sich mancher Landwirt seinem Boden gegenüber bisher stellt, schließt den Gedanken an eine natürliche Harmonie im Boden aus. Das Wissen darum, daß sich harmonische Verhältnisse durch entsprechende Humuszufuhr neu herstellen lassen, wird erst langsam Gemeingut. Die Grund-Formel für die Landwirtschaft der ganzen Welt muß von nun an lauten:

Wenn Du Deine Ernten erhöhen willst, mußt Du zu allererst Deinen Humusbestand verbessern. Düngung allein ist ungenügend, weil keine Art von Düngung den vermehrten Bedarf der Pflanzen deckt. Nur regelmäßige Bodenverjüngung durch Humus schafft das Plus an organischer Substanz und Organismen, das eine vermehrte Ernte ermöglicht, ohne daß der Boden dabei ausgeplündert und erschöpft wird. Erst auf der Basis ständiger Nachhumifizierung kann eine Düngung erfolgreich sein und zu erhöhter Produktion führen. Abfälle allein sind unzulänglicher Dünger und ersetzen nie den Humus. Humus allein schafft Fruchtbarkeit der Erde.

Keine Kulturpflanze kann auf die Dauer ohne Humus existieren. Es gibt wohl Pflanzen, die ihren Nahrungsbedarf auf andere Weise decken. Die sehr artenreiche Gruppe der sog. Ruderalpflanzen, die auf der ganzen Welt so



TAFEL II

Legende auf Rückseite

TAFEL II: HÖHERE EDAPHON-ORGANISMEN

Oben links: Tomocerus, ein Springschwanz. Diese Urinsekten sind typische Vertreter der feuchtigkeitliebenden Bodenfauna.

Oben rechts: Strumigenis, eine extreme Ameisenform, die charakteristische Eigentümlichkeiten aufweist, die sich bei Bodenbewohnern aus anderen Insektenordnungen immer wieder finden: Pigmentarmut des Körpers, außerordentliche Beweglichkeit in den Gelenken und dichter Besatz mit Keulenborsten.

Mitte links: Ricinoides, blinde tropische Erdspinne

Mitte rechts: Caeculus, eine bizarr gestaltete Bodenmilbe

Unten links: Larve der in Bodenstreu lebenden Haarmücke Penthetria

Unten rechts: Scaptocoris, eine in Süd- und Mittelamerika als Wurzelsauger im Boden lebende Wanze — ein extremes Beispiel für den Typ des Erdminierers. Der schaufelförmig ausgerandete Kopf, die zu Picken umgestalteten Vorderbeine, die zum Abstemmen geeigneten Mittelbeine, die zu schweren Rammen umgestalteten tarsenlosen Hinterbeine, die Walzenform des Rumpfes, die Derbheit der Cuticula und die nach rückwärts gestellten Borsten vereinigen sich zu einem Grabmechanismus von seltener Vollkommenheit.

ziemlich aus denselben Familien besteht, lebt z. B. direkt von Fäulnis, Verwesung, Leichen, Zersetzungseiweißen und Zersetzungskohlehydraten mitsamt dem ganzen Wirrsal ihrer flüchtigen Spaltprodukte. Aber unter ihnen ist nicht eine einzige, die Mensch oder Haustier in ihre Ernährung mit einbeziehen. Einige, wie verschiedene Nachtschattengewächse (Solanaceen), produzieren sogar giftige Alkaloide. Das Vieh meidet diese Pflanzen wegen ihrer Unbekömmlichkeit. Sie unterdrücken und vertreiben z. B. bei fortgesetzter Jauche-, Gülle- und Abwasserdüngung die wertvollen Futterpflanzen und Futtergräser. Zuletzt löst sich die geschlossene Pflanzendecke in Büschel und Inseln von Ruderalflora auf und an den offenen Stellen setzt die Erosion durch Wind und Regen ein. Die Natur bringt solche ruderalverwüstete Böden nur mehr langsam und meist nicht mehr völlig in Ordnung. Man fragt sich darum mit Recht, ob in den alten Kulturländern nicht schon seit Jahrhunderten eine systematische Auswechselung der ursprünglichen Flora stattfand, die mit dem Beginn der organisierten Abfall- und Stalldüngung anfang. Da Humus eine überwiegend oligosaprobe Formation ist und alle unsere Kulturpflanzen auf diese oligosaprobe Formation eingestellt sind, gedeihen sie auf fäulnisverseuchten Böden nicht gut und sind gegen die zahllosen Infektionen, denen sie dort ausgesetzt sind, sehr anfällig. Der Ruderalflora schadet keine Bodeninfektion, weder Bakterien, noch Viren oder Pilze. Reine Fäulnisorganismen, wie man sie z. B. unter den Strahlenpilzen findet [*Streptothrix* sp., *Actinomyces thermophilus* oder *Actinomyces chromogenes*), vergesellschaften sich ohne weiteres mit ihr und schädigen sie nicht. Es gibt aber auch Mikroben, welche unsere Kulturgewächse anfallen und schwer schädigen. Es ist dies besonders der Fall bei der Düngung mit unhumifiziertem Abfalldünger und auch Stallmist.

Auch die mit Stalldünger versorgten Böden erleiden mit der Zeit eine Humus-Verarmung. Mitteleuropa, wo in den vergangenen zweihundert Jahren ja eine ausgesprochene Stallmistwirtschaft betrieben wurde, müßte demnach das humusreichste Land der Welt sein. Es ist es aber nicht.

Stallmist ist nur ein Best dessen, was dem Tier als Nahrung diente. Alle die hochwertigen Eiweiße, Kohlehydrate, Zucker, Fette usw., die von der Pflanze gebildet wurden, sind ihm entzogen. Die Ausscheidungen sind nährstoffarm. Aus Wohnungen, Fabriken und ganzen Städten gelangen die Abfälle überhaupt nicht mehr auf das Land zurück. Sie fließen in die Kanäle, die sie in die Flüsse leiten, welche sie zuletzt ins Meer schwemmen. Zwischen dem, was vom Acker geerntet wird und dem, was wieder auf den Acker zurückkommt, besteht eine Diskrepanz.

Zu der Mengendifferenz kommt noch ein Gefalle der Qualität hinzu. Während Humus nichts mehr mit Fäulnis zu tun hat, stellen Stallmist oder Stadtmüll, frische Jauche oder Kanalwasser stark fäulnisfähige Substanzen dar. Sie belasten den Kulturboden mit der Aufgabe, diese faulenden Massen zu „entfäulen“. Dazu aber ist der Boden nicht eingerichtet.

Wenn die Natur Eiweiße u. dgl. wegzuschaffen hat, bildet sie aus dem Rest, den alle die vielen großen und kleinen Aasfresser übriglassen, gewisse „Fäulnisinseln“, die mit Aufbietung von „fliegenden Kolonnen“ von Mikroben zer setzt und aufgeschlossen werden. Der übrige Boden kann durch den Vorgang nicht infiziert werden, auch können sich nicht Massen von Fäulnisorganismen in ihm ständig ansiedeln, so, daß sie die edaphische Flora und Fauna verdrängen. Der ganze Vorgang wird beschleunigt abgewickelt und schafft Humus, der mit Fäulnis und Verwesung nichts mehr zu tun hat. Bis aber der Harnstickstoff, der bei Jauche und Abwässern etwa 0,6% ausmacht, umgesetzt wird, dauert es zumindest ein Jahr. Auch dann ist noch nicht alles umgewandelt, denn es haben sich nur ca. 20% Nitrate gebildet. Die in solchen Materialien immer enthaltenen Wirkstoffe (Hormone, Biotin, Folliculin) aktivieren die Pflanze zu beschleunigtem Wachstum. Das ist mit eine der Ursachen der „Fruchtbarkeit“ der Stalldüngung. Da aber auch dieser Dünger den Ausfall der vorherigen Ernte nicht decken kann, sieht sich die Pflanze genötigt, aus dem Boden die fehlenden 50% herauszuholen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Anwendung von Handelsdüngern. Die bisherige Düngerwirtschaft konnte die Böden nicht verbessern, weil sie nicht nach dem Beispiel der Natur Humus durch Humus ersetzt oder systematisch zur Humusspeicherung beizutragen vermochte.

Die gestörte Harmonie des Bodens läßt sich auch im mikroskopischen Bild erkennen. Ein Übermaß von Fäulnisbakterien durchsetzt und verdichtet durch seine reichlich produzierten Kolloide die Oberfläche. Sie gehören ausschließlich zu den Lebensgemeinschaften der Ammoniak- und Nitritau/spalter und nicht zum Edaphon. Weder dem Boden, noch den Kulturpflanzen sind sie in diesem Obermaß dienlich. Als Zerstörer stürzen sie sich auf die Wurzeln, infizieren sie, behindern sie bei der Atmung und zerstören sie. Die vielen abgefauten Wurzeln, die jeder Landwirt zu seinem Leidwesen entdecken muß, sind auf ihre Rechnung zu setzen. Stickstoff kann von unseren meisten Kulturpflanzen nur in Form von Salpeter bzw. Nitraten aufgenommen werden. Das ist zugleich auch die biochemische Form, in der er im Reinboden vorhanden ist. Eine leicht zu merkende Formel besagt:

pH 7—8 = Nitratstickstoff = harmonisch ausgebildetes
Edaphon = oligosaprobe (organische) Substanz = Humus.

Man kann dabei von dem einen auf das andere schließen, denn es sind Faktoren aus ein und demselben Kreislauf.

Abfall-, Gülle- und Abwässerdüngung kommen in erster Linie der unerwünschten Ruderalflora zugute. Ihr üppiges Wachstum zeigt denn auch auf allen diesbezüglichen Böden, wie ausgezeichnet sie bei den viel zu langsam sich vollziehenden, ja oft genug sogar rückläufigen Abläufen von Fäulnis und Verwesung im Boden gedeiht. Sie ist auch die einzige, die Wurzelsymbiosen mit polysaprophyten Mikroben eingeht, das heißt, sie nimmt reine Fäulnisinfu-

sionen über Wurzelhaare und Wurzelspitzen in sich auf. Kein Wunder, daß das Vieh die Ruderalflora verschmäht!

Die wenigen Leguminosen, die zur Ruderalflora gehören, z. B. ein paar Steinkleearten (*Medicago*), außerhalb Europa niedrige und sehr dornige Mimosenbüsche, siedeln sich stets dort an, wo die Hauptverrottung bereits vorüber ist. Da sie reichlich Proteine erhalten, ist ihre Knöllchenbildung meist nur geringfügig. Die Mimosen haben für gewöhnlich gar keine. Bei den übrigen Bewohnern: Nesseln, Melden, Wegerichen, Hahnenfußarten, Fingerkräutern, Nachtschattengewächsen habe ich dagegen immer beobachtet, daß sie in jedem Klima unverhältnismäßig große und lange Pfahlwurzeln bilden. Diese stecken meist in einem wilden Gewirr von Beiwurzeln und sind grobverholzt. Dieses ganze Wurzelwerk strebt mit aller Kraft nach unten, wodurch es mit der Hauptspitze über die eigentliche Fäulniszone hinausgelangt. Man denkt zunächst, daß dies der besseren Verfestigung in Schutt- und Müllhaufen wegen so sein müsse. Es geschieht aber wohl auch darum, um der hohen Produktion von Schwefelwasserstoff, Methan, Kohlendioxyd und anderen Fäulnisgasen der oberen Schichten zu entrinnen. In den weniger verseuchten Uriterböden finden z. B. auch dort angesiedelte Blaualgen, die bis zu einem halben Meter Tiefe hinunterdringen, wesentlich mehr Sauerstoff und eine, wenn auch sehr artenarme, aber doch nicht ausschließlich polysaprobe Bakterienwelt.

Der Unterschied zwischen Blumen, Gras, Getreide, Gemüse und Früchten, die auf abfallgedüngtem Boden und solchen, die auf Humus wachsen, ist augenfällig. Die auf Humus gezogenen erreichen beinahe die Widerstandskraft von Wildgewächsen. Selbst wenn sie einmal von einer Pflanzenkrankheit oder von Parasiten befallen werden, erholen sie sich in kurzer Zeit und holen das versäumte Wachstum rasch nach.

Abgesehen von Heuschrecken-, Termiten- und Ameisenschwärmen steht das massenhafte Auftreten von Parasiten immer mit Monokulturen in Zusammenhang, also letzten Endes mit dem Eingriff des Menschen in die Natur.

Ein weiteres Bodenproblem ist die Versorgung mit Wasser. Ausgedehnte Monokulturen sind durch Klimaeinflüsse stets gefährdeter als Mischkulturen. Nicht alle Gewächse ertragen während ihrer ganzen Vegetationszeit grelle Belichtung. Sie sind für schattenspendende Zwischenpflanzungen dankbar. Mais, Tomaten, Paprika, Sonnenblumen, Sesam, Baumwolle brauchen z. B. zwischen Blüten- und Fruchtreife Lufttrockenheit, jedoch genügend Bodenfeuchtigkeit.

Um letztere zu gewährleisten, hilft man sich in allen Trockenländern mit Bewässerungskanälen, die kaum anders sind, als es die antiken und vorantiken waren, zum Teil auch mit der Eintiefung des ganzen Feldes, auf dem das Wasser stehenbleibt und nur langsam einsickert. Das letztere ist jedenfalls vom Standpunkt des Bodens aus vorzuziehen, denn das Abfließen des Wassers ist mit Verlust wertvoller Substanzen verbunden. Gleichzeitig geht es

nicht ohne Verschlämung ab, weil die Feinsedimentierung die lockere und luftreiche Oberfläche überlagert und gewissermaßen verkittet.

Unter natürlichen Umständen besitzt jede Pflanze die Fähigkeit, alles, was sie braucht, sich aus dem Boden zu beschaffen: z. B. Salze, Mineralien, Säuren, Metalle, Biokatalysatoren und Gase.

Letztere werden sowohl aus der Luft, als auch aus dem Boden entnommen. Bei der Humusproduktion werden Kohlensäure und Stickstoff frei. Auch aus der Atmosphäre werden sie durch Regen oder Schnee in die Erde gebracht. Dieser Anteil wechselt mengenmäßig sehr stark je nach Jahreszeit, Klima und Luftströmungen und ist verschieden in Stadt und Land, über dem freien Feld, dem Meer oder Gebirge oder in raucherfüllten Industriezentren. Es gibt Orte auf der Erde, wo diese „Gasversorgung aus der Atmosphäre“ oft Monate, selbst Jahre hindurch völlig aussetzt, während im Humus ununterbrochen Nährgase entstehen. Sie werden zunächst von der Pflanzenwurzel aufgenommen, wahrscheinlich auf dem Umweg über mikrobielle Biozönosen. Auch Sauerstoff wird aus dem Boden zugeführt. Aber sein Anteil schwankt dauernd, denn er ist an den Lebenszyklus vieler und verschiedenster Geobionten gebunden: aerober und anaerober Gruppen, fakultativ aerober und fakultativ anaerober. Sogar die obligat anaeroben wie die Milchsäurebakterien oder *Amylobacter* usw. entnehmen geringe Mengen Sauerstoff aus der Bodenluft. Die Hauptmenge von Sauerstoff liefern die assimilierenden Bodenalgae. Aber auch beim Abbau von toten Körpern oder Schlacken wird Sauerstoff durch Mikroben für die eigene Existenz abgespalten. Es handelt sich dabei meist um Hefen, die einen hohen Sauerstoffverbrauch haben. Aber sie lassen noch einen Restbestand im Boden übrig. Sie sind dagegen fleißige Produzenten von Kohlensäure. Produktion und Verbrauch an Nährgasen sind bei einzelnen Gruppen von Mikroorganismen eng miteinander verknüpft und bis ins Feinste spezialisiert. Die für den Boden so bedeutsame Gesamtleistung wird, je nach Eigenart, von speziellen Arbeitsgruppen vollbracht. Alle Teilnehmer genießen Vorteile der Arbeitsteilung, sicherlich auch im Hinblick auf die außerordentliche Unstabilität der flüchtigen organischen Verbindungen. So sind z. B. Nitrite im Boden überhaupt kaum feststellbar, da sie unter normalen Verhältnissen sogleich zu Nitraten umgebaut werden.

Trifft man trotzdem größere Mengen Nitrite, so bedeutet das, daß an diesem Punkt eine rückläufige Entwicklung stattfindet, Eiweiße also zu einfacheren Verbindungen abgebaut werden. So besitzt z. B. das *Bacterium coli* die Fähigkeit, Nitrate zu Nitriten zu verwandeln, die dann wieder von *Bacterium denitrificans* bis zu Ammoniakverbindungen reduziert werden. Der rein polysaprobe *Vibrio desulfuricans*, der in sehr sauerstoffarmer Bodenluft lebt, baut die Nitrate gleich direkt zu Ammoniak um. Dieser, immer im Mist und in Abfällen zu findende Organismus bildet auch aus totem Eiweiß Schwefelwasserstoff. Andere Fäulnis mikroben gehen dabei von Harzsäure und Harzen als Grundstoff aus. Allerdings entstehen auf diese Weise niemals

bedeutende Gasmengen. In einem gesunden Boden, der eine gesunde Flora trägt, gibt es keinerlei rückläufige Entwicklungen. Nitratreduktion als eine ständige und sehr unerwünschte Erscheinung trifft man dagegen stets dort, wo gewohnheitsgemäß mit rohen Abfällen jeder Art gedüngt wird. Sie ist eine bedenkliche Störung des optimalen Ablaufes der Humusbildung.

Salze, Säuren, auch Metalle und Mineralien können von der Pflanze nur in sehr verdünnter Lösung aufgenommen werden. Höhere Konzentrationen wirken keineswegs besser, sondern schaden. Auswaschung und Regen mildern glücklicherweise ein Zuviel, reduzieren aber auch den nutzbaren Wert von Handelsdüngern. In der Natur sind diese Verhältnisse harmonisch abgewogen.

Die reichsten und fruchtbarsten Urwaldböden besitzen übereinstimmend viel weniger Nitrogen, Phosphorverbindungen und Kali, als die Düngerpläne der zivilisierten Länder vorsehen. Der berühmte und in seiner Leistung unerreichte Nilschlamm enthält z. B. nur Spuren von freiem Stickstoff, geringe Mengen von Phosphorverbindungen und Kali, dagegen reichlich Eisen, viel Silikate und elementares Aluminium und eine überreiche, hochwertige Mikroflora.

Es kommt also nicht darauf an, daß die Nährstoffe in großen Quanten dem Boden verabreicht werden, sondern daß sie der Boden auch verarbeiten kann. Das aber hängt ab von Zahl, Art und Leistungsfähigkeit seiner Geobionten, deren Lebensgemeinschaften alle natürlichen und ebenso Handelsdünger aufarbeiten, umsetzen und in einen für die Pflanze aufnehmbaren Zustand überführen. Kein Dünger ist vollwertig, sondern braucht die Wirkstoffe aus der Erde, die nur das Edaphon mit seinen spezialisierten Organismengruppen gewährleistet. Über das Edaphon erst vermag die Pflanzenwurzel den Dünger zu nützen.

Die Frage, auf welche Art und in welcher Form die Pflanze aus dem Boden Wirkstoffe aufnimmt, ist schwer zu beantworten. Wahrscheinlich ist, daß aus dem Wirkstoffhaushalt der Mikroben über Wurzel und Wurzelhaare gewisse Stoffwechselprodukte in den Pflanzenkörper übergehen.

Die Pflanze ist, wie schon früher erwähnt, durch die Zoogloen, in welche ihre Wurzelhaare hineinwachsen, sehr innig mit ihrem Standort verbunden. Darum wird das Edaphon den größten direkten Einfluß auf die Pflanze ausüben. Diese Tatsache muß vor allem berücksichtigt werden, wenn man die Ernten durch Düngung steigern will. Es gibt bis jetzt keinen Dünger, mit dem sich Dauererfolge erzielen ließen, weil der Dünger in erster Linie für die Pflanze berechnet, aber oft nicht auf den Boden abgestimmt ist.

Für die Pflanze ist charakteristisch, daß sie in ihre Umwelt, sowohl oberirdisch wie unterirdisch, fest eingebaut ist und ihr nicht wie das Tier entfliehen kann. Wird ihr Standort von Fäulnisstoffen und Fäulnisorganismen überschwemmt, so wandern ständig solche Mikroorganismen mit den Bodenlösungen in das Gewächs ein und infizieren unter Umständen alle Lebewesen, die sich davon ernähren. Im allgemeinen sind sie für die Pflanze weit weni-

ger schädlich als für den Pflanzenfresser. Wahrscheinlich sind auch viele Stoffe, die die Pflanze an unverrotteten Standorten notgedrungen in ihre Zellen einlagert, nicht bekömmlich. Salze, Oxalsäure, Kalkkristalle in Form der häufigen Raphiden, Metallinkrustierungen und Silikatkonkremente werden aus dem Stoffkreislauf ausgeschieden und dort abgelagert, wo sie der Saftstrom nicht mehr erfaßt. Vielleicht hat das Bestreben der Pflanze, optimal zu verwerten, zur Bildung jener Kieselzellen geführt, die man an den meisten Gräsern, aber auch an den langen, harten Schlitzblättern der amerikanischen Sabalpalme beobachten kann. Sie schneiden scharf wie ein steinzeitliches Obsidianmesser und verhindern sicher, daß tierische Schmarotzer das darunterliegende Blatt abweiden. Es gibt auch Pflanzen, die Eisen einlagern. In alten Verlandungsgebieten findet man nicht selten Eisenalgen (*Closterium moniliferum*, *Anthophysa* sp. oder *Trachelomonas*formen) und die merkwürdigen Eisenbakterien (*Gallionella*, *Chrenothis* etc.), die erst nach ihrem Tod von dem gespeicherten Eisen an Mikroben abgeben, welche es später an die oberirdische Flora weiterleiten. Man kann auch zuweilen im lebenden Gewebe Metallspuren finden. Sie wirken sich vermutlich wie Spurenelemente aus, die noch in millionenfacher Verdünnung in die Physiologie eingreifen. Vorläufig wissen wir viel zu wenig über die optimale Konzentration der Spurenelementgaben. Sicherlich ist es zu gut gemeint, wenn man auf Hawaii alte Autos zu Pulverstaub zerschrotet und damit die Ananasplantagen besprüht. Mangel an Bor, Kupfer, Eisen, Kobalt, Zink und anderen Elementen ruft Mangelkrankheiten der Kulturpflanzen hervor. Das Fehlen von Magnesium und Mangan verursacht eine Verfärbung der Getreideblätter ins Rote oder Lila. Einen sehr hohen Molybdänbedarf haben Knöllchenbakterien und der *Azotobacter*, beides wichtige Sammler von Luftstickstoff. Das *Bacterium radicola* braucht sogar 0,04 mg Molybdän auf 100 ccm Nährlösung, was für ein Spurenelement eine sehr hohe Konzentration bedeutet.

Der lebende Pflanzenkörper ist ein Refugium für eingewanderte Organismen. Viele sehr merkwürdige Lebensgemeinschaften dieser Art wurden entdeckt, deren Zweck noch nicht erklärbar ist. An Wildpflanzen konnte zuerst die Beobachtung gemacht werden, daß jedes Gewächs eine Art Lebensraum für die Mikrowelt darstellt. Man findet nicht nur Bakterien, sondern auch Viren, Bakteriophagen und die winzigen Zyklen der autochthonen Mikroflora. (Unter diesem Sammelnamen faßt man eine Reihe von zwerghaften, fast ganz unbekanntem Lebensformen, gewissermaßen einer Unterstufe der erforschten Bodenlebewelt zusammen.) Im Milchsaft gewisser Wolfsmilchgewächse (*Euphorbiaceen*) schwimmen Geissler, die man bisher noch nirgends beobachtet hat. Bakterien und Algen, besonders die uralten Blaualgen (*Cyanophyceen*) finden sich gemeinsam in den Wurzeln der Sagopalme. Es wird vermutet, daß sie an der enormen Stärkespeicherung des Stammes beteiligt sind.

Die Symbiose der Rhizobien mit den Leguminosen sind zweifellos älter als die Landwirtschaft der Erde. Ehe noch der Mensch davon wußte, verhal-

fen sie den Hülsenfrüchten zu dem hohen Aleurongehalt. Die Wurzeln aller Bäume, Sträucher und vieler krautiger Pflanzen gehen besonders im Keimlingsstadium eine Symbiose mit Bodenpilzen ein, die sie mit Wasser und Eiweißen versorgen. Diese Erscheinung heißt Mykorrhiza, ins Deutsche übersetzt „Pilzwurzel“, welche Bezeichnung aber die sehr komplizierte Sache nicht genügend erklärt. Sie dürfte wohl eine der ältesten Symbiosen überhaupt sein; sie ist auch schon lange bekannt und viel untersucht. Trotzdem ist aber nicht klar, wieso die Bodenpilze mit der viel jüngeren Waldflora diese Lebensgemeinschaft eingehen. Die Steinkohlenwälder des Devons und Carbons, die weit in das Frühalter der Erdgeschichte zurückreichen, dürften wohl „Wasserwälder“ gewesen sein, die in weitausgedehnten Sümpfen wuchsen. Die Bodenpilze aber sind keine Bewohner von Verlandungszonen und sind es auch sicher nie gewesen. Sie sind vor allem der Walderde, die reich an sich umsetzenden Zellulosen ist, angepaßt, also echte Humusbewohner. Verlandungszonen und Sümpfe aber sind erst Vorstadien, Ausgangsstadien davon. Hier ist eine Lücke in unserem Wissen von der Entwicklung des Lebens auf der Erde.

Neben diesen sehr nützlichen Symbiosen gibt es an allen von Menschen bewohnten Orten, die von Abfallzersettern überschwemmt sind, eine Einwanderung pathogener Organismen in die Pflanzen, die für Mensch und Tier bedrohlich wird. Es gibt keine Beweise dafür, daß sie die Pflanze selber schädigen, um so mehr aber, daß sie dem Menschen schaden, der z. B. infiziertes Gemüse genießt. Wir haben versuchsweise Spinat mit einer konzentrierten Staphylococcenaufschwemmung begossen (der Staphylococcus ist bekanntlich der Erreger des gelben Eiters). Nach Monaten noch konnten wir die Kokken lebensfähig in den grünen Spinatblättern nachweisen. In Kohlrabi, die mit frischem Stallmist gedüngt waren, und sehr gut aussahen, ließen sich *Bact. coli* feststellen. Streptococcen und Dysenterieamöben haften beinahe immer an Gemüsen und vor allem an Salaten. Eine noch so sorgfältige Abwaschung genügt leider nicht, um sie restlos zu entfernen, da sie sich mittels Kolloiden sehr fest an die Außenhaut der Blätter heften. Durch die Düngung mit faulenden Zellulosen und Eiweißen können die Pflanzen „gedopt“ und höhere Ernten erzielt werden. Die „fetten“ Gemüse nahm man als Gegengabe des Bodens für die reichliche Stallmistdüngung gern und selbstverständlich hin, bis vor wenigen Jahren erkannt wurde, daß die pathogenen Organismen aus nicht verrottetem Dünger im Erdboden weiterleben, ihn also verseuchen und von da in die Kulturpflanzen gelangen, die zum Genuß bestimmt sind.

Jede Düngung sollte schließlich zur Schaffung und Erhaltung des optimalen biologischen Gleichgewichtes im Boden beitragen.

Humus und Boden unterliegen den Gesetzen des Lebendigen, nach denen sich die Landwirtschaft ausrichten muß. Bleiben diese Gesetze unberücksichtigt, so werden zwangsweise Bodenmüdigkeit, Wüstenbildung und Parasitenplagen auftreten.

Zum Schluß dieses Kapitels müßte noch etwas über den harmonischen Ausgleich zwischen dem ununterbrochenen Abbau und dem ebenso ununterbrochenen Aufbau von Humus in der Natur gesagt werden. Es steht uns zwar eine Menge von Tatsachen zur Verfügung, die sich aber nur auf den augenblicklichen Bodenzustand beziehen und den momentanen Zusammenhang zwischen Klima, Wasserhaushalt, Jahreszeit und Anbautechnik spiegeln. Leider kann man die Ergebnisse auch noch so sorgfältig durchgeführter Laboratoriumsversuche nicht auf Freiland, Feld, Wald oder Wiese übertragen. Das Leben hat seine eigene Wahlfähigkeit und seine eigenen Wahrscheinlichkeitsrechnungen und überrascht mit immer neuen, völlig unerwarteten Anpassungsmöglichkeiten. Das gilt ebenso für die Mikrobiobewelt wie für die Makrobiobewelt. Hierzu ein Beispiel aus meiner Erfahrung! Unter den Organismen der Verlandung, des Bodens und des Wassers gibt es solche, die darauf eingerichtet sind, Eisenverbindungen umzusetzen. Die auf Eisen spezialisierten Mikroben lagern in ihre dicken Gallertmäntel, mitunter auch in die äußere Plasmahaut, Eisen ein. Im abgestorbenen Zustand bilden sie infolge des so reichlich aufgenommenen Eisenhydroxyds im Laufe von Jahrtausenden die großen Raseneisenerzlager, die in Europa schon im Mittelalter fast völlig abgebaut und zu Rüstungen und Kettenhemden verwendet wurden.

In der Mikrobiologie versteht man unter Eisenbakterien solche, zu deren Lebensgewohnheiten es gehört, Eisen unter Energiegewinn zu oxydieren. Bei unseren Laborversuchen zeigte sich jedoch, daß auch andere Mikroorganismen unter gewissen Umständen das gleiche vermögen. In einem unserer Aquarien befanden sich schmale Bänder eines Eisendrahtgewebes zur Unterbringung von Samen in bestimmten Lösungen. In den Lösungen waren Humusaufbauer und Mineralzersetzer zusammengewöhnt worden: verschiedene Arten von Bakterien bis zu Rädertierchen und Nematoden. Echte Eisenorganismen waren nicht unter ihnen. Das Eisendrahtgitter war durch einen dicken Ölfarbeanstrich gegen Rost gesichert worden. Aber nach etwas weniger als drei Wochen hatten sich auf ihm dicke Watten grüner Algen und Kokken angesiedelt, die den Ölfarbeanstrich, also eine Materie, auf die sie sonst durchaus nicht eingerichtet sind, total zersetzten. Eigentliche Eisenorganismen fehlten nach wie vor. Nur von einer einzigen Alge, *Isocystis infusionum*, weiß man, daß sie auch gelegentlich an eisenreichen, sehr nassen Ufern vorkommt. Zu unserer großen Überraschung hatten indes sehr viele dieser Organismen, vor allem Kieselalgen, das Eisen in Form von winzigen dunklen Körnchen eingelagert. Ebenso zeigten *Protococcon*, *Nostoc* und *Oscillatorien* Einlagerungen des Metalls in ihren auffällig verdickten Kolloidmänteln. Vielleicht läßt sich diese Tatsache damit erklären, daß das Algen-Chlorophyll, sowie die Chloro- und Cromoplasten anderer assimilierender Mikroorganismen freies Eisen zur Assimilation benötigen. Es ist nicht bekannt, daß auch Mineralzersetzer und Humusaufbauer Eisen zu speichern vermögen. Man kann aber auf

Grund dieses Laboratoriumsversuches auf die Möglichkeit ähnlicher Vorgänge in der Natur schließen.

Es gilt als Regel, daß ein Naturwald 1000 Jahre braucht, um 3 cm „Dauerhumus“ aufzuspeichern. Ich nehme an, daß dieser Angabe, die im Widerspruch zu jeder glaubhaften Humustheorie zu stehen scheint, Beobachtungen in tropischen Urwäldern zugrunde liegen. Das unvergleichlich üppige Wirrsal von Bäumen, Büschen, Lianen und Überpflanzen gedeiht oft auf einem Boden, den man keineswegs als fruchtbar bezeichnen kann. Bei genauer Betrachtung stellt sich heraus, daß sich da ein sehr beschleunigter Stoffwechselkreislauf von Pflanze zu Pflanze der oberirdischen Flora schließt, der gerade jene unerhörte Üppigkeit ermöglicht, aber keinen Überschuß im Boden erzielt. Im heißfeuchten äquatorialen Klima zerfällt ein Waldbaum, den der Sturm umlegt, in ungläublich kurzer Zeit. Ich habe auch in den Nord- und Südalpen Baumstämme von weit über meterdickem Durchmesser gesehen, die im Laufe eines Jahres so zermorschten, daß man einen Stock ohne Widerstand hindurchstoßen konnte. Große Platten schwammartig zerklüfteten Gewebes ließen sich mühelos auseinanderbrechen. Die gewaltige Holzmasse kehrt aber nur zum Teil direkt in den Boden zurück. Sie füllt zunächst viele hungrige Mägen von Würmern, Larven und Insekten, die sie meist mehrmals durchverdauen. Schließlich bleibt ein feiner, dunkler Moder übrig, der von Pilzen, Bakterien und beschälten Amöben weiter aufgespalten wird.

Von Fall zu Fall sind aber die Zahlen der Holz- und Laubhumifizierung sehr unterschiedlich. Sogar die Eigenwärme der Verrottung, die durch die thermophilen Bakterien in Laub- oder Grashaufen bis auf 84° C gesteigert werden kann, ist bei der Holzzersetzung oft nur unwesentlich. Es scheint, daß die von den oft meterdicken Moospolstern der tropischen und subtropischen Hochgebirgswälder gespeicherte Wassermenge ausschlaggebend ist. Jede Zelluloseumwandlung braucht reichlich Wasser. Hochwertige Humusböden besitzen einen Gehalt an organischer Substanz, die im Naturwald immer zwischen 20 und 40% liegt. Wieviel Humus in der Natur aus verrotteten Zellulosen entsteht, liegt nicht fest. Es ist auch sehr schwierig, das einwandfrei festzustellen. Nach unserer Methode, deren Ergebnisse aber nur einen ungefähren Anhalt geben, liefert eine gesteuerte, biologische Zelluloseverrottung ein Minimum von beiläufig 50% Humus, in Ausnahmefällen sogar 80%. Das ist bei der sog. „Cachaza“, einem Abfallprodukt des Zuckerrohres, der Fall. Die dazu nötige Zeit beträgt zwischen 3 und 7 Monaten. Bei schon stark vorzerkleinertem Material verlief der ganze Prozeß in etwa 2 1/2 Monaten. Die Masse-Differenz muß auf Rechnung entwichener Gase und verdunsteten Wassers gesetzt werden. Überschlagsmäßig läßt sich errechnen, daß etwa 70% der pflanzlichen Reste zu Humus werden und der Bodenverjüngung zugute kommen. Dieses Verhältnis gilt für alle Wälder sämtlicher Klimlagen. Es ist sehr günstig, um so mehr, als es sich um einen kontinuierlichen Ersatz handelt, der jahraus, jahrein weitergeht. Die Meh-

rung an Organismen und die höhere Aktivität des neugewonnenen Humus kann in seiner Wirkung gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Nur der Wald vermag über seinen Eigenbedarf hinaus Humus zu speichern. Seine Restzellulosen verbleiben dort, wo es keine Streunutzung oder kein Ausbrennen des Jungholzes gibt, im großen Kreislauf. Daneben ist der Zuwachs an totem Eiweiß, von Tieren aller Art stammend, im Wald kaum umfangreicher als in Feld, Wiese oder Steppe. Wenn man alle Stallmist- oder Stickstoff-Düngung ausschaltet, ist dieses Verhältnis von Fall zu Fall verschieden. Die unterschiedlichen Lebensprozesse, Jahreszeiten und Klima, verändern es ebenfalls. So ist die natürliche Bodenanreicherung mit Stickstoffverbindungen aus allen möglichen Lebensresten außerordentlich instabil und nirgends auf eine zuverlässige Formel zu bringen. Das könnte dazu führen, daß man vielleicht eines Tages die gegenwärtig allgemein anerkannten „Normzahlen der Stickstoffdüngung“ revidieren wird. Sie stellen Handelszahlen dar, aber keine tatsächlichen und unanfechtbaren Bedarfszahlen des Bodens. Die Quantität der natürlichen Humuserneuerung wird also entscheidend bestimmt vom Zelluloseanfall (mit seinen Ligninen, Pentosanen, Naturzuckern und sonstigen Formen von Kohlenhydraten). Buche, Fichte und Kiefer produzieren auf annähernd ähnlichen Standorten pro Jahr und ha etwa 6300kg Abfallkohlehydrate. Die Laubwaldabfälle zersetzen sich in wesentlich kürzerer Zeit (am schnellsten Erlenblätter, die schon in einer Vegetationsperiode abgebaut werden) als Nadelwaldreste, deren Verrottung etwa 7 Jahre dauert. Auch das Resultat ist sehr verschieden. Laubwald liefert bekanntlich einen ausgezeichnet gekrümelten, milden, hochwertigen Humusnachschieb von pH 6,5—7,5. Nadelwald ergibt harten, schlecht gekrümelten, mageren — an organischer Substanz armen — sauren Rohboden, der selten über pH 5, oft sogar darunter liegt, und in der ersten Zeit kaum Moose ernährt. Zuerst wachsen nur Erdflechten auf ihm, die aber kein Wasser speichern können. In Mexiko entstehen aus den verschiedenen, weich- und langnadeligen einheimischen Kiefern Streubetten, die oft meterdick werden, obgleich der Nadelfall dort nicht an eine Jahreszeit gebunden ist. In der Trockenzeit stößt man meist erst in einer Tiefe von 1/2 m auf feuchte und halbverrottete Schichten. Nur dort, wo in einer Höhe von 2500—3200 m das reiche natürliche Unterholz erhalten ist, geht die Umsetzung viel rascher vor sich, denn dort rinnt Wasser, Moose wuchern in dicken Polstern, eine prachtvolle Wildnis wächst über- und durcheinander. Trotzdem ist die Humusspeicherung auch dort sehr gering. Ich habe mich in den wunderschönen „Los Chicos“ bei Pachuca, die man nicht mit Unrecht „mexikanische Schweiz“ nennt, davon überzeugt, daß auch in diesen kühlen, hochgelegenen Subtropen die Aufarbeitung von Abfällen ein unwahrscheinliches Tempo annehmen muß, um die Nährstoffe für diese Urwälder zu schaffen. Die Wurzeln müssen in das Gestein hinabkriechen, das unvorstellbar reich an Lithobionten ist. Die genaue Betrachtung zeigt, daß das harte widerstandsfähige Urgestein, oft bis auf ein Drittel Meter und mehr, so zer-

morscht ist wie die Grattürme in den Kalkalpen. Die eigentliche Bodenschicht beträgt selten mehr als 20 cm. Aber diese dünne Erddecke enthält ein undurchdringliches Wirrsal von Pflanzen, die alle von ihr leben. Offenbar ist das nur dadurch möglich, weil die lithobiontische Besiedelung sich in unzähligen Zoogloen an die Wurzeln anschließt und ihren Mineralbedarf optimal befriedigen kann. Für Speicherhumus kann kaum etwas übrig bleiben, denn alles Umgesetzte und Aufgeschlossene wird raschestens wieder verbraucht.

Kehren wir aber noch einmal zu den 6300 kg pflanzlicher Abfallstoffe pro Jahr und ha zurück! Diese Zahl scheint allgemein anwendbar zu sein, denn auch ein Kartoffelfeld stellt so viel Trockenmasse her, die Knollen miteingerechnet. Wiesen bringen es nach derselben Berechnung auf durchschnittlich 6000 kg, manchmal sogar etwas darüber. Von alledem bleibt für die Bodenenerneuerung nur „ein Minimum“, sowohl an Menge als an Nährstoffen. Auch der Wald, so üppig und pflanzenreich er auch sein mag, verwendet eine Höchstmenge seines selbst produzierten Humus wiederum für das Eigenleben. Was er zurücklegt, ist wenig, aber doch so viel, daß man von einem Ersatz reden kann, der ihm allerdings pausenlos zugute kommt. So erhält sich der unberührte Wald selbst. Phantastische Mengen an Kohlen, die ja schließlich alle einmal Wälder waren, sind letzten Endes aus einer vollendeten Naturhumuswirtschaft aufgebaut worden.

Kulturböden können bei der heutigen Art der Bewirtschaftung kaum je zu einer Ersatzhumifizierung kommen. Denken wir nur an den Kartoffelacker, von dem selbst das Kartoffelkraut sinnlos Derbrannt wird! Damit werden nicht nur die Abfallzellulosen vernichtet, sondern auch astronomische Zahlen von unentbehrlichen Mikroorganismen, die schon dabei sind, diesen letzten Rest der Ernte zu zersetzen, um daraus wieder frischen Boden herzustellen. Was die Wiese anbelangt, so wird sie bekanntlich möglichst tief gemäht, um soviel Heu als möglich zu gewinnen. Vom Heu kehrt nur wenig wieder zur Wiese zurück. Betrachtet man unbewirtschaftete Naturwiesen, so sieht man, daß die ausgedörrten Halme nach dem Samenausfall sehr bald umbrechen und zu Boden sinken. Auf diese Art wird eine Zellstoffreserve für den neuen Nachwuchs geschaffen, von der auch der Boden einen bescheidenen Teil erhält. Damit setzt sich der ursprüngliche Kreislauf fort. Riesengebiete solch unbesiedelter Naturwiesen waren einmal die ganze amerikanische Prärie und die argentinische Pampa. Wir können uns kaum mehr eine richtige Vorstellung davon machen, wie auch diese Pflanzenformation sich selbst erhielt, daß der Wechsel von Leben und Tod auf ihr so vollendet eingerichtet war, daß er zu den zeitlosen Abläufen gehörte. Wahrscheinlich war auch hier das Tempo der Umsetzung ein beschleunigtes und es kam zu keiner oder doch zu keiner wesentlichen Vermehrung des einstigen Humusbestandes, der, wie überall, wohl auch hier einst aus endlosen Wäldern hervorging.

Wieviel Humus können die jeweiligen Pflanzenformationen aus den zurückbleibenden Resten herstellen, um optimal ihren natürlichen Humusbestand zu erhalten?

Sicherlich hat jede Pflanzenformation ihr spezifisches Optimum, das als feste Norm gelten kann. Die Art des mineralischen Untergrundes spielt keine entscheidende Rolle dabei; denn die aufbereitenden Lithobionten greifen Kalke und Silikate gleichermaßen an. Unterschiede werden erst bewirkt durch den Bewuchs auf der Oberfläche der Erde, durch eine z. B. kalk- oder kieselholde Flora. Aber auch das wird nur dort augenfällig, wo man von extremen Bodenbildungen sprechen kann, wo also der mineralische Gehalt weit überwiegt. Dabei besteht für die Makropflanze die oft recht schwer zu lösende Aufgabe, sich mit dem mineralischen Überschuß abzufinden. Dann erst erfolgt eine merkbare Auslese nach der einen oder anderen Seite. So bilden sich, angefangen von den Moosen und Flechten, bodenspezifische Biozözen, die wieder ihrerseits eine besondere Fauna ernähren, die sich wieder auf eine bestimmte Lebensform spezialisiert hat.

Die Natur ist immer bestrebt, das harmonische Verhältnis zwischen Humusverbrauch und Humuserneuerung wieder herzustellen. Entsprechend den durchwurzelten Bodenzonen sollte ein Ackerboden einen halben Meter, ein Gartenboden bis anderthalb Meter, eine Obstpflanzung 3—5 m einigermaßen humiden Untergrund enthalten. Der weitschauende Landwirt müßte seinen Kulturen diese fruchtbare Schicht ständig nachschaffen. Unsere gebräuchlichen Düngemittel sind aber dazu nicht vollständig in der Lage. Sie bewirken zwar vermehrtes Wachstum und erhöhten Ertrag, vermögen aber nicht die Bodengesundheit zu erhalten oder zu steigern oder gar eine systematische Bodenverjüngung herbeizuführen. Gute Dauerernten beruhen aber letzten Endes auf einem harmonischen Ausgleich zwischen Humusbedarf und Humusersatz.

So muß also Landwirtschaft in erster Linie Humuswirtschaft sein. Das müßte man über den Eingang jeden Gartens und an den Rand jeder Pflanzung schreiben! Eine eigentliche Humuswirtschaft ist heute erst im Werden begriffen. Sie müßte zum Eckpfeiler der Landwirtschaft auf der ganzen Welt werden. Wir müssen die Natur zum Vorbild nehmen.

Wir kennen die Methoden der Natur so gut, daß wir uns ihrer bedienen können, soweit dies im Bereich des heute technisch Möglichen liegt.

II. LEBEN WIRD AUS DEM STEIN

Es ist merkwürdig, daß Landwirtschaft und Düngung, seit sich der Mensch damit befaßt, und das sind bei uns schon Jahrhunderte und in China mehrere Jahrtausende her, sich nur auf den organischen Anteil im Boden ausrichten. Selbst die mineralischen Dünger sollten ursprünglich nur den Mangel an organischer Substanz ersetzen. Trotzdem zeigt uns ein Blick auf den Boden, daß heute der organische Anteil in ihm gegen den mineralischen weit zurücktritt.

Woraus besteht der Erdboden?

Man sieht heute Kulturböden mit 2% Humusgehalt schon als guten Ackerboden an. Die übrigen 98% verteilen sich je nach Bodenart, 15—25% auf Luft, freies zirkulierendes Bodenwasser, ca. 8% Bodenorganismen, 5—10% Speicher- und Reststoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprunges. Dann verbleiben noch 70% der Masse. Die sind rein mineralisch.

Der mineralische Bodenanteil entsteht durch Zerfall, das ist Erosion der Gesteine.

Der Zerfall von Gebirgen und Plattenschollen erfolgt stufenweise. Was wir mit freiem Auge sehen, ist nur die Groberosion, die durch fließendes Wasser, Wind und Temperaturextreme bewirkt wird. Sie umfaßt alle Formen der Zerkleinerung jeglicher Mineralienart von Steinmuren, hausgroßen Felstrümmern, herabgestürzten Wänden und riesigen Schutthalden bis zum Rollkiesel und feingekörnten Sand. Sand ist noch lange nicht das Ende der wirklichen Erosion, obwohl die Sanddüne, der sandige Kontinentalschelf und der Schlick des Wattenmeeres als das Ende der Gebirge gelten. In ewigem Kreislauf erodieren Sandsteinfelsen und der Sand verfestigt sich durch Eigendruck und wird wieder zum Gebirge.

Nach der Groberosion aber setzt erst die Feinerosion ein. Sie beginnt z. B. bei Glimmern und Silikaten mit glitzernden Kristallpünktchen und endet bei Miniaturpartikelchen von wenigen Tausendstel Millimeter Größe. Diese Lilitkristalle sind es, die den Großteil des Erdvolumens ausmachen.

Sie sind nicht zu sehen mit freiem Auge. Sie heben sich auch vom dunklen Humus nicht mehr ab. In großer Überzahl machen sie den Boden spröde und verursachen, daß er kaum mehr Wasser zu binden vermag.

Die weitere Zerkleinerung dieser kleinsten Kristalle erfolgt nicht mehr durch mechanische Zerreibung, wie sie für das Grobmaterial charakteristisch ist. Sie erreichen selbst auf dem Grund rasch fließender Gewässer keine größeren Feinheitsgrade mehr. Der „Till“, die sogenannte „Flußtrübe“ aller alpinen Bäche und Flüsse, besteht zu einem wesentlichen Teil aus Kalkfeinsplittern. Denn Kalk erodiert und verwittert viel leichter als die Urgesteine. Alle „Achen“ sind höchst kohlen-säure- und sauerstoffreich und lösen darum schon während des ersten Drittels ihres Laufes kleinere Kalkgesteine auf. Die Kieselgeschiebe und -gerölle werden mehr oder weniger zerrieben oder

abgeschliffen, ins Meer mitgenommen, wo sie sich als „Schelf“ rund um die Kontinente als unterseeischer Sockel aufhäufen.

Die Mikrokristalle des Bodens lassen sich wieder in größere und ganz kleine einteilen. Die größeren bestehen in allen kalkreichen Gebieten aus gemischten Calciten. Darin sind alle möglichen Salze, auch Kohlenstoffverbindungen und Säuren mit einbegriffen. Überall, wo sich eine Bodenbasis aus Urgesteinen gebildet hat, überwiegen reine und gemischte Silikate, Glimmer, Feldspate, sowie alle nur denkbaren Quarzarten. Der vulkanische Boden ist reich an Obsidianen, Laven unterschiedlichster Zusammensetzung, Aschen, Überresten zerfallener Lapillis, verwitterter Granite und Basalte. Silikate überwiegen häufig auch in Schiefen, die der natürlichen Auflösung keinen Widerstand mehr entgegenzusetzen, ebenso in allen Sedimenten. Im Magma, in der glühend flüssigen Lava, verbrennen sie selbst bei 3000° C Hitze nicht, schmelzen nur und verglasen, basaltieren und granitisieren dann. Ein Übermaß an Kalk und Kalkverbindungen im Boden ist immer durch Sedimentierung entstanden. Die Kalkriffe, z. B. der Südseeinseln und der Adriaküste sowie das Kalkplateau der Halbinsel Yucatan sind Ablagerungen eines intensiven, in weiten, ausflachenden Golfen und Lagunen ausgetrockneten Meereslebens. Diese Sedimentbänke wurden durch Auffaltungen der Kontinente oder des Meeresgrundes gehoben. An der Luft zerfällt solch organischer Kalk rasch zu einem trockenen Kalksand, über den sich erst im Laufe von Jahrtausenden allmählich Humusdecken auf dem Wege über den Urwald bilden. Wird dieser gerodet, kommt es zu schneller Bodenerosion, die den Kalksand wieder freilegt. In Yucatan, wo dieser Vorgang in allen seinen Phasen durchschaubar ist, liegt er in einer Dicke von 3 cm auf dem harten, mit Muschel- und Schneckenschalen durchsetzten alten Kalkriff. Dort haben die Mayas den riesigen regenreichen Urwald am Golf von Campeche zugunsten des Maisbaues vernichtet. Als infolge der beschleunigten Erosion kein Mais mehr wuchs, zogen sie nach Norden, der fruchtbaren Erde nach. Am Ablauf der Fein- und Feinsterosion kann der Mensch nichts ändern.

Die letzte Auflösung der Bodenmineralien erfolgt nicht, wie früher angenommen wurde, nur auf rein chemischem Wege, sondern Hand in Hand damit durch die Zersetzungsarbeit von Mikroben. Letztere ist die bedeutsamere in dem Prozeß. Von ihr hängt die Humusbildung aus den Bodenmineralien ab. Die Erdkruste verdankt buchstäblich den Mikroben die Erlösung aus dem Stein. Das wirft — nur so nebenbei bemerkt — auch auf die Perioden der Erdgeschichte ein neues Licht. Lange, ehe es die Großtiere und Großpflanzen des Festlandes geben konnte, wurde für sie durch Anhäufung von fruchtbarer Erde der Lebensraum vorbereitet. Das Leben der mit dem unbewaffneten Auge nicht sichtbaren Einzeller geht dem der Vielzeller weit voraus. Die letzteren mußten sich an das im Humus schon vorhandene Leben anpassen. So erklärt sich zwanglos das Entstehen und die Funktion der Pflanzenwurzel, für die sich bei den Mikropflanzen keinerlei oder doch kaum Vorstufen finden.

Unbestritten gibt es eine Reihe chemischer Prozesse der Gesteinsauflösung. Dabei werden immer nur einzelne Stoffe aus dem mineralischen Verband herauskorrodiert, wie z. B. in der Natur im Laufe der Zeit selbst Kaliumsilikat durch Kohlensäure angegriffen wird. Das Element Schwefel dagegen wird direkt in den Stoffwechsel bestimmter Mikroben aufgenommen. Blaualgen (Nostoc, Oscillatorien usw.) und Schwefelbakterien verarbeiten Schwefelwasserstoff. Sie speichern Schwefel in Körnchen, Kristallen oder Tropfen. Außerdem scheiden sie ihn auch aus und lassen ihn, amorph oder kristallinisch, liegen. Es ist unglaublich, wie intensiv sie in ihrer ganzen Lebens-tätigkeit an Schwefel gebunden sind. Diese ihre Sonderbefähigung erklärt zugleich, daß es eine ganze Anzahl von Oscillatorien gibt, die im Abwasser und Faulschlamm ausgezeichnet gedeihen. Ihre Anpassungsfähigkeit ermöglicht ihnen auch, eine Reihe wichtiger Gesteinszersetzer zu stellen.

Nun hat sich Wissenschaft und Praxis in den letzten Generationen fast ausschließlich auf den Ersatz der organischen Substanz durch Dünger festgelegt. Dadurch wurde die Frage der Mineralumwandlung durch die Lithobionten vernachlässigt. Man hat zu wenig berücksichtigt, daß alle organische Substanz durch die Pflanze so außerordentlich rasch aufgebraucht wird, daß der notwendige Nachschub auf dem Wege über die Umsetzung toten Plasmas allein nicht gedeckt werden kann.

Der Vorgang der Gesteinsumsetzung beginnt durch Mikroben mit der Abspaltung einzelner Mineralien, derjenigen nämlich, die sie zu ihrer Existenz brauchen. So bemächtigt sich z. B. der *Aspergillus niger*, einer unserer alltäglichsten Schimmelpilze, des Kalium, wo immer er es findet. Es ist anzunehmen, daß er es zu seiner überreichen Sporenbildung braucht. In der Natur findet er viele kaliumhaltige Gesteinsarten, z. B. unter den Feldspaten den Orthoklas, unter vulkanischen Böden Obsidiane und Glimmer in reicher Auswahl. Aber er verschmäh auch Glasscherben nicht, die er in langen, offenen Gängen anätzt. Bodenpilze gehören im allgemeinen nicht zu den ersten Mineralaufschließern. Aber *Aspergillus niger* und gewisse *Actinomyces*arten machen eine Ausnahme. Diese Organismen zählen zu den Lithobionten, Steinbewohnern, welche die Erstarbeit bei der Zersetzung der Gesteine leisten. Sie vermögen Erstaunliches zu vollbringen. Wenn der Mensch die gleichen Stoffe z. B. aus Gläsern herauslösen wollte, müßte er erhebliche Energien anwenden.

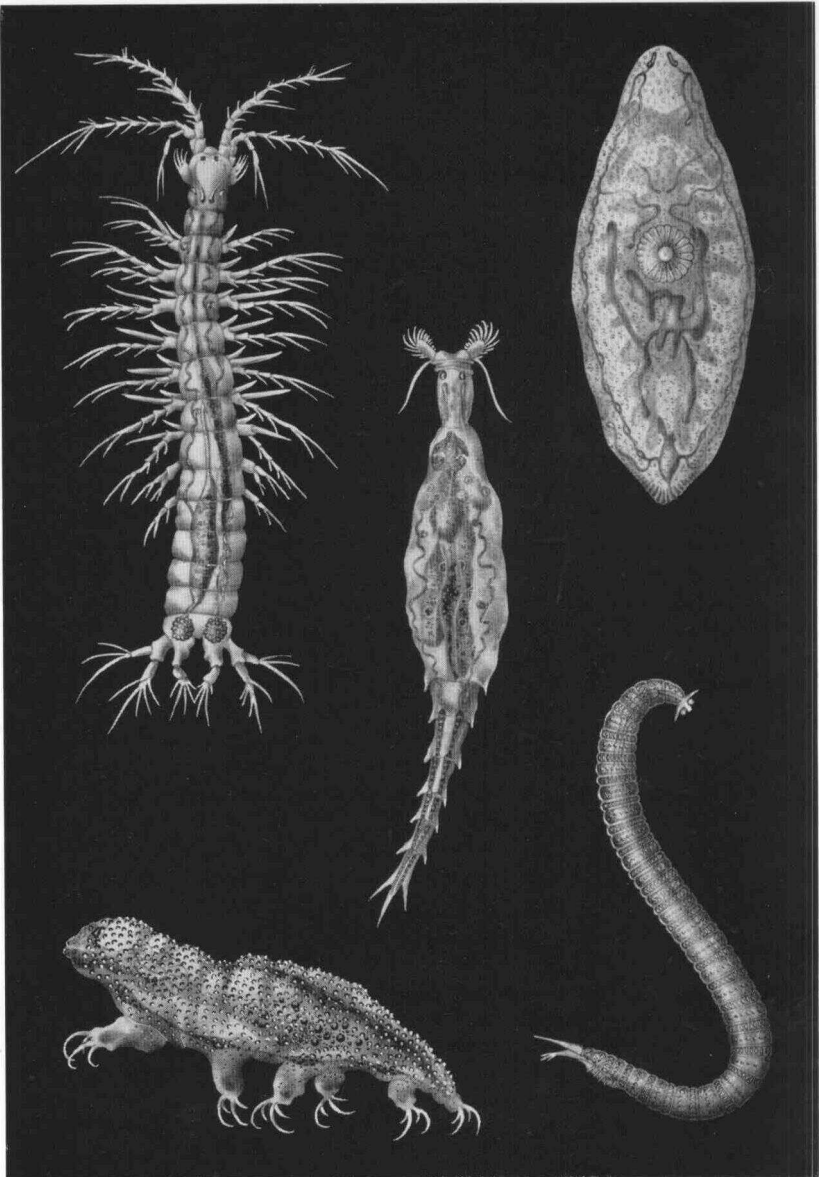
Die Oberfläche eines Steines, auf dem sich Lithobionten angesiedelt haben, zeigt nach einiger Zeit ein schwammartig durchlöcherteres Gerüst, das bald auch dem bloßen Auge als eine deutlich sieht- und fühlbare Aufrauung erscheint. Dieses stehengebliebene Strukturgerüst besteht aus Silikaten, also Glimmern oder Quarziten oder Calziten oder aus Verbindungen von beiden. Auf und in ihm finden sich Massenansiedlungen der verschiedensten Bakterien und Algen, die von da aus ins Innere hineinwandern. Allen gemeinsam ist eine außerordentlich starke Kolloidbildung. Bei der lithobiontischen

Grünalge *Gloeocapsa muralis* werden zwei bis vier sehr kleine chlorophyllhaltige Zellen von einer dicken Gallertkugel umschlossen.

An überrieselten Felswänden bilden sich lange, dunkle Gallertpolster, die fest am Stein kleben, die sogenannten „Tintenstriche“. Ihr charakteristisches Schwarzgrün rührt von verschiedenen Oscillatorien und Nostoc-Kolonien her. Oft haftet an den Steinen ein bläulichgrüner oder goldgrüner dünner Schaum, der sich unter der vergrößernden Linse als ein undurchdringliches Wirrsal von Fadenalgen erweist. Beteiligt sind daran: Phormidium-, Ulothrix-, Chaetophoraarten. Dabei finden sich meist die langen, blaßgrünen Ketten von *Isocystis infusionum*. Ist das Gestein stark schwefelhaltig, so trifft man meist auch *Anabaena*-Arten, deren Fäden aus bleich olivenfarbenen Perlschnüren zusammengesetzt erscheinen, unterbrochen von einer ovalen Dauerzyste. Im Wasser schwimmen sie wie Ratten, denn ihre mit Schwefelwasserstoff gefüllten Kugelzellen haben einen starken Auftrieb. Salze werden durch viele einzelne oder untereinander verbundene *Scenedesmus*-Zellen (meist *Scenedesmus quadricauda*) angezeigt. Oft findet man Lager von leuchtend-grünen Proto-Cysto- und Pleurococcuskugeln. Niemals fehlen die gesteinsliebenden Kieselalgen mit den Arten *Suriella*, *Cymbella*, *Gomophonema* und *Navicula*.

Alle diese Mikroben kleben in, auf, unter und zwischen den gequollenen, grün bis olivgrün schimmernden Nostoc-Schleim-Kissen, oder in einem nilgrünen Urwald ständig leise pendelnder Schwingfäden von *Oscillatoria tenuis*. Auch Silikatbakterien, die oft silizierte Kalksteine besiedeln, liegen in gemeinsamen Gallertpolstern. Schon von Anfang an bilden sich Zoogloeen, gleichartig oder vielartig zusammengesetzt. Sie sind gewissermaßen die gemeinsamen Arbeitsstätten, in denen sich das Leben der gesamten Lithobionten abspielt. Sie schützen vor Kälte und Hitze, vor Austrocknung und Abgespültwerden. Sicherlich herrscht unter diesen Kolloiddecken ein Mikroklima, das von dem der Außenwelt unabhängig ist. Die Temperaturextreme auf einer unbewachsenen Felswand schwanken zwischen plus 60° und minus 60° C. Niemals erfriert jedoch eine Algenzelle bei solchen Tieftemperaturen, sie stellt nicht einmal ihre Assimilationsarbeit ein. Ganz nahe verwandte, in heißen Geisern lebende Blaualgen ertragen ohne weiteres 85° C und mehr Hitze, ohne Schaden zu erleiden.

Die Tätigkeit der lithobiontischen Biozönose verändert die Struktur der besetzten Steine verhältnismäßig schnell. Die Oberfläche wird in feinen Schichten systematisch abgetragen. Die Spuren ihrer Tätigkeit lassen sich auch nicht verwischen. Kolonien von Siliciumbakterien hinterlassen im härtesten Gestein wie Gneis, Granit oder Porphyryr allerwinzigste Mikrosplitter, die frei dort liegen. Den ewig sauerstoffhungrigen *Azotobacter* findet man in einer seiner vielen Spielarten fast immer in Gesellschaft von grünen Algen. In derselben lithobiontischen Besiedelung trifft man auch *Clostridium Pasteurianum*, *Granulobacter*-Arten und eine ganze Anzahl noch unbekannter fluoreszierender Micrococcen.



TAFEL III

Legende auf Rückseite

TAFEL III: NIEDERE VIELZELLER DES EDAPHON

Oben links: *Bathynella*, ein etwa 1 mm langes Kriebstierchen aus unterirdischen Wasseransammlungen (Schweiz, Südfrankreich, Rumänien)

Mitte: *Rotifer vulgaris*, Rädertier (0,8 mm)

Oben rechts: *Mesostoma*, Strudelwurm (0,8 mm)

Unten links: *Milnesium tardigradum*, Bärtierchen (1 mm)

Unten rechts: *Bunonema spec.*, Fadenwurm (0,5 mm)

Unter der fortgesetzten Arbeit der erweiterten Zoogloeen zerbricht sehr bald die oberste Zone der Schwammstruktur in Mikrokristalle. Es ist ein regelrechter Zerfall der Materie und ihres bisherigen Aufbaues. Man muß wohl annehmen, daß diese mikrobielle Leistung bis zur Molekularaufspaltung reicht. Nun erst beginnt die vollkommene Zerstörung des Kristallgitters. Die gemischten Kolonien von Algen, Pilzen und Bakterien schließen sich nach Möglichkeit unter einer durchsichtigen Gallertdecke zusammen. Aus der Luft fallen ständig vom Wind verschleppte Zysten und edaphische Organismen darauf. Diese besiedeln wiederum die Kolloiddecken und schaffen neue Lebenszonen, während sich unter ihnen die mikrobielle Aufschließung immer tiefer in die Felswand hineinfrißt. So entsteht Schicht um Schicht, eine über der anderen. Die ganz besonders lichtbedürftigen Organismen wandern nach oben, diejenigen, die auch in Dämmerlicht zu assimilieren vermögen oder als Schmarotzer leben, gehen langsam immer tiefer.

Aus den Zysten und Eiern entwickeln sich neue Lebewesen. Unter den Nematoden gibt es ausgesprochene Lithobionten, die anscheinend den Dorylaimus- und Aphanolaimusarten zugehören und nicht polysaprob sind. Ich habe sie nie anders gesehen als mit einem vollgestopften Darm, der von gefressenen Mikrococccen grünlich schimmert. Auch Rädertierchen treten auf, Reinwasserformen, vom Spiegel ferner Gewässer stammend. Mit dem Erscheinen von Ciliaten und Flagellaten, häufig gleicher Herkunft, wandelt sich allmählich die lithobiontische Biozönose in eine edaphische um. Mit ihr setzt die erste Detritusbildung ein. Die wasserklaren Gallertdecken verschwinden, denn in sie werden die ersten humösen Bestandteile eingelagert. Die Bodenpilze vermehren sich, vor allem die Actinomycesarten. Parallel zum mineralischen Abbau erscheint nun bereits plasmatische Fäulnis substanz. Damit erweitert sich der Lebenskreis nach der organischen Seite hin. Nicht nur die anorganischen Schwefelverbindungen des Gesteins, sondern insbesondere der organisch gebundene Schwefel, aus abgestorbenen Organismen stammend, wird vielfältig von Bakterien ausgenützt. Während bisher die mineralzersetzenden und assimilierenden Mikropflanzen allein das Feld beherrschten, beginnt nun in der erweiterten Biozönose auch der Existenzkampf der einzelnen Lebewesen untereinander, eine Scheidung in Freund und Feind, in Angriff und Verteidigung. Alles das schafft Rückstände des Lebens, aus denen schließlich wieder neues Leben entsteht.

In diesem Frühstadium des Edaphons siedeln sich z. B. auf der Oberfläche der „Tintenstriche“ Steinflechten an. Diese, meistens *Laminaria* und verwandte Arten, nehmen noch kräftig an der Mineralzersetzung teil auf Grund ihrer gestein-aufschließenden Wurzelausscheidungen. Zu den Flechten gesellen sich auch schon Moose. Mit zunehmendem Wachstum nach oben sterben die unteren Lagen ab und liefern neue organische Zersetzungssubstanz, so daß der erste Grashalm, der erste Mauerfarn seine bescheidene Nahrung zu finden vermag. Diese Großpflanzen gehören bereits zur fünften bis siebenten

Generation der Vegetation und zählen nicht mehr zu den ersten Pionieren. Ihnen kommt die wichtige Aufgabe zu, den rieselnden Schutt zu binden und die organismenreichen Detritusflocken festzuhalten. Zwischen ihren „Wurzel-tüchern“ siedeln sich von neuem Lithobionten, vor allem sehr viel autochthone Mikroflora an. So wächst eine dünne, magere Erdschicht, die zwar immer noch hochmineralisch ist, aber doch schon Erde und nicht mehr Stein.

Nur ganz trockene Wüstenfelsen zeigen keine „Tintenstriche“ und weisen keine derartigen lithobiontischen Umwandlungen auf. Wenn man aber die nackten Wände der Pyramiden mikroskopisch untersucht, so zeigt sich, daß es auch dort nicht an Leben fehlt. Ohne Unterschied des Alters finden sich Lithobionten an allen steinernen Kulturdenkmälern der Erde, seien es die Pyramiden von Mexiko oder die von Ägypten. Da wie dort arbeiten zähe Einzeller Jahrtausende lang am Zerfall der „ewigen Menschenwerke“. Hier sind in kleiner Auswahl Lithobionten tätig, zumeist nur Bakterien, Formen der autochthonen Mikroflora und grüne Kokken. Sie vermögen aus der Luft Wasser zu kondensieren. In Mexiko wird durch eine Regenzeit die Vegetation der lithobiontischen Flora begünstigt. In der Trockenzeit ruht sie unter den Kolloiddecken. In Ägypten dagegen deckt die Mikroflora ihren Wasserbedarf durch den Tau der Wüste. Dieser bildet sich täglich kurz vor Sonnenaufgang infolge des starken Temperaturunterschiedes zwischen Tageshitze und Nachtkälte. So findet sich auch dort eine langsame lithobiontische Verwitterung, die an dem unaufhaltsamen Zerbröckeln der Gesteine — seien es nun alte Tempel oder die Kalkwände des Mokkatamgebirges — zu erkennen ist. Aber darüber hinaus kann man überall auf der Erde beobachten, daß der Vorgang der Aufschließung durch Lithobionten ein einheitlich ablaufender Prozeß ist, sei es, daß er sich an Gebirgsmassiven oder am einzelnen Sandkorn vollzieht. Dieser biologische Ablauf ist ohne Rücksicht auf Zeit immer derselbe. Allerdings kann die Biozönose arten- und organismenreich oder -arm sein. Für ihre Entwicklung ist die jeweilige Feuchtigkeit von Bedeutung. Die Grundformen einer Biozönose sind überall die gleichen. Gesteine und geschichtliche Bauten werden durch die lithobiontische Biozönose endgültig umgewandelt. Dadurch wird die anorganische Komponente des Humus vorbereitet.

Ein Blick auf die Erdoberfläche und in den Boden überzeugt uns davon, daß das Anorganische bei weitem überwiegt, sowohl innerhalb der Feinerosion als auch der festen Erdrinde. Die Formationen unserer Erdrinde sind einer ständigen Veränderung unterworfen. Gebirge werden abgetragen, Flüsse versanden, untergegangene Kontinente liegen unter kilometerdicker Sedimentation und tauchen wieder auf, um neuerdings sofort der Erosion anheimzufallen. Wir wissen vom Kreislauf des Calciums, des Siliciums und aller Erdminerale, daß sie zwischen organischer und anorganischer Bindungsform einem Kreislauf unterliegen. Dieser Kreislauf beginnt und endet im Humus. Die Freisetzung ehemals organisch gebundenen Minerals aus abgestorbenem

Plasma gehört ebenso zu den erderhaltenden Prozessen, wie der Aufbau des Plasmas unter Einschaltung von Mineralien.

Daß man von der kontinuierlichen Umsetzung des Gesteins im Leben praktisch bis heute so wenig weiß, hat seine Ursache wohl darin, daß man mit freiem Auge so wenig davon sieht. Der erste deutlich sichtbare, erbärmlich magere Pflanzenwuchs auf Mauern, Felsen, Dünen, über der Sandflur, in den halbnassen Verlandungs- und Entlandungszonen, weist ja bereits darauf hin, daß — genau wie in den „Tintenstrichen“ — die primären mikrobiellen Vorbereitungsstadien längst vorüber sind.

Im Durchschnitt beträgt die rein mineralische Bodensubstanz 60—95%. Unter 60% mineralische Bestandteile finden sich nur in jenen homogenen Humusformen, die aus verschiedenen Zellulosen, also durch Laubfall, Schilfrohlager oder aus den für hochgelegene Urwälder charakteristischen meterdicken Moospolstern entstanden sind. Über 95% Mineral tritt auf in schlecht bewachsenen Dünen, an Küsten, auf alten Vulkanböden, in eingesprengten Linsen von Sedimenten, Tonen, Lehmen, die zuweilen mit Lößmergeln gemischt sind. Dort überall kann es vorkommen, daß das bißchen organische Substanz, das durch eine sehr eintönige, formenarme und primitive Mikroflora geschaffen wurde, wirklich nicht mehr als 1—3% ausmacht.

Dabei muß berücksichtigt werden, daß eine solche mineralische Bodenformation keineswegs immer eine Vorstufe der Humusbildung ist, sondern häufig die Nachstufe zugrunde gegangener Humusböden darstellt.

Nicht nur in Mexiko hatte ich Gelegenheit, die ganze Linie des Humusschwundes bis in seine letzten Phasen zu beobachten. Es ist nicht wahrscheinlich, daß er — außer in Yucatan — schon vor den Spaniern in wirklich ausgedehntem Ausmaß auftrat. Er setzte ein mit dem Roden und Fällen riesiger Waldgebirge, die man, nicht nur um Getreide- und Weideland zu erhalten, sondern auch aus Sicherheitsgründen rücksichtslos niederbrannte. Über die Folgen war man sich damals noch nicht klar, wie man ja heute noch stellenweise mit Feuer rodet. Der Humusschatz der Hochebenen im einst bewaldeten Tal von Mexiko-City wurde bedenkenlos aufgebraucht, ohne daß man an Ersatz dachte. Heute befindet sich von Sinaloa bis Baja California der Boden in einem Zustand zwischen Wüste und Steppe. Zum Teil ist er schon zu reiner Wüste geworden, deren einzige Flora aus Mezquitebäumen und Kaktusurwald besteht. In diesen Böden ist auch die mikrobielle Besiedelung auf ein Minimum herabgesunken. Der leichte Detritus und die noch leichteren Zoogloen wurden längst abgeweht. Damit verschwindet aber auch die Kapillarstruktur des Bodens und es tritt jene luftlose Verdichtung aller Tonböden ein, die jeder Pflanzenwurzel (Disteln und die übrigen Ruderalgewächse ausgenommen) hartnäckigen Widerstand entgegensetzt. Bei langer Trockenheit verbacken solche Böden zu steinharten Schollen, deren Umfang sich schon frühzeitig durch tief ausgedörrte Risse abzeichnet. Solche Böden lassen sich selbst mit

den raffiniertesten Ackergeräten nicht mehr bearbeiten. Umfangreiche künstliche Bewässerungsmaßnahmen vermögen ihn lediglich in einen hell- bis schwarzgrauen Schlamm zu verwandeln, wobei dieses Aufweichen nicht die mindeste Verbesserung bedeutet. Sobald Regenzeit oder künstliche Bewässerung aufhören, setzt wieder die hoffnungslose Austrocknung ein und das kümmerlich gekeimte Saatgut kann nur ein Minimum an Bewurzelung entwickeln. Meist verdorren die wenigen Körner noch vor der Reife auf dem Halm.

Abwehung und Aushagerung stellen dann die letzte Phase solcher „gestorbener Böden“ dar. Es fehlt an Kolloiden, denn nur noch eine mangelhafte Bakterienflora vegetiert an der Oberfläche, die steinhart wie Beton wird. Zur Trockenheit von unten gesellt sich Trockenheit von oben. In Mexiko ist in den Steppengebieten des Nordens auch während der Regenzeit die Niederschlagsmenge viel geringer als in dem noch waldreichen Süden, wo es auch außerhalb der Regenzeit genug Feuchtigkeit gibt.

Der Abwehung folgt auf den verbackenen Tonoberflächen dann der unaufhaltsame Prozeß einer immer tiefer dringenden Abbröckelung und Zerstäubung. Größere, Fein- oder Feinstpartikel werden vom Wind oder Regen weggetragen und treiben mit den Passaten oder werden ins Grundwasser geschwemmt. Es entsteht die für alle Wüsten charakteristische Wannbildung. Der Verlust an Bodenmaterie ist endgültig, denn durch die kreisenden Staubstürme beginnt nun auch eine mechanische Zerreibung und Ausschleifung. Die Risse werden durch die herabstürzenden Regenfälle, denen keine organische Substanz ausgleichend gegenübersteht, in Canons verwandelt, die das flache Land durch Schluchten und Grate aufreißen. So wird es dürr, nackt, unbegebar und unbepflanzbar. Die Erosion wird auch mit den härtesten „Betonsohlen“ fertig.

Praktisch muß jedes Stück Land, das dieser Entwicklung anheimfällt, schon vom ersten Beginn an vom Bebauungsplan gestrichen werden. In den Ländern mit wachsender Wüstenbildung nimmt auf diese Weise der fruchtbare Boden von Jahr zu Jahr ab. Mexiko wies im Jahre 1952 bereits über 40% zerstörten Bodens („man made desert“) auf. Nur 7 1/2 % dieser Böden erschienen noch als bewässerungsfähig und gleichzeitig mit genügend organischer Substanz versehen. Allerdings befanden sich unter den letzteren noch unberührte Urwaldböden der „Tierra caliente“. Trotz gewaltiger Ausgaben des Staates für Flußregulationen und Kanalisierung nimmt die Wüstenbildung zu, weil eben Bewässerung allein nicht genügt, sondern auch die organische Substanz ersetzt werden muß.

Ein allgemeiner Test für die Verschlechterung der Böden durch Humuschwund ist die Reifedauer des Mais'. Während der Konquistadorenzeit reifte der Mais überall im Land in 3 Monaten. Jetzt braucht er 6—7 Monate dazu. Auf den ganz erodierten Hochebenen werden die kleinen Mais-Kolben, die dort noch gedeihen, erst in 11 Monaten reif.

Alle sogenannten „schweren“, „tonigen“ Böden leiden an Humusschwund. Das läßt sich erkennen an der sehr feinporigen Struktur, die die Wasserführung durch die zu sehr verengten Kapillaren hemmt. Solche Böden bleiben stets kalt und enden meist in stauender Nässe. Der Wurzelsaugdruck erreicht oft nur die Hälfte des Saugdruckes der kolloidalen Bodenteilchen, vermag also nur sehr unvollkommen eine biologische Entwässerung durchzuführen. Raumenge und schlechte Durchlüftung verhindern die Bildung von lithobiontischen Zooglooen in den Wurzelzonen. Die Wurzel selber hat zu wenig Platz, um sich genügend entwickeln zu können. Auch ihre Sauerstoffversorgung ist sehr mangelhaft. Bei Austrocknung und Verbackung wird die Wurzel so festgeklemt, daß sie sich nicht mehr bewegen kann. Bald verschwinden auch die Regenwürmer, weil sie nicht genügend Nahrung finden. Da das Edaphon fast völlig fehlt, kann auch keine organische Substanz entstehen.

Dem Landwirt ist bekannt, daß „Tonkomplexe“ durch „Mizellenausweitung“ Nitrogenverbindungen einzulagern vermögen und diese dadurch vor Ausschwemmung und allzuraschem Verbrauch schützen. Man hofft, daß die leicht wasserlöslichen Salze und Handelsdünger auf diese Weise dem Boden besser erhalten bleiben. Aber Tonkomplexe mit ihrer erwünschten kolloidalen Struktur scheinen weit weniger geeignet, Salze zu binden als die von den Lithobionten und Bodenorganismen gebildeten Zooglooen. In diesen werden sie aufgeschlossen und der Wurzel zugeführt. Das vermag ein Tonkomplex nicht zu leisten. Bestenfalls bietet er eine Basis für lithobiontisches Leben.

Der Aufbau organischer Substanz ist nur eine Umkehrung des Abbauprozesses. Mit starkem Humusschwund geht aber auch ein Abbau der Lebenszone einher, so daß der Boden nicht mehr in der Lage ist, neuen Humus aufzubauen. Deshalb müssen ihm durch Edaphonhumus neue Mikrobenstämme zugeführt werden, die allein befähigt sind, den Erschöpfungszustand des Bodens wieder zu beheben. Das Wissen um Vergangenheit und Herkunft eines Bodens ist notwendig, um beurteilen zu können, ob er sich im aufsteigenden oder absteigenden Status befindet. Meistens wird er sich auf der absteigenden Linie befinden infolge des Raubbaues sowohl in unserer Zeit als in der Vergangenheit. Um neuen Humus zu erzielen, ist es nicht allein damit getan, nur organische Abfälle zur Neuproduktion einzusetzen, sondern es muß außerdem durch gesteuerte Impfung mit Lithobionten auf dem Wege der Zersetzung von Mineralien neuer Humus geschaffen werden.

III. WIE KANN HUMUS ERSETZT WERDEN?

Das Organische

Die Einsicht, daß man dem Boden etwas zurückgeben müsse, kam den einzelnen Völkern zu sehr verschiedenen Zeiten. Die chinesischen Kaiser erließen diesbezügliche Anordnungen schon vor etwa 5000 Jahren. Die Azteken hatten eine regelrechte Düngungswirtschaft für ihre schwimmenden Gärten in Xochimilco entwickelt. Sie muß sich bewährt haben. Denn von Xochimilco aus wurden die vegetabilischen Märkte der hunderttausendköpfigen Stadt Tenochtitlan versorgt. Es handelte sich um Düngung mit Schlamm, den man auf Rohr- und Zweigeflechten aus flachen Seen schöpfte. War nun eine Seestelle ausgeschöpft, so zog der Indio seinen „Garten“ mit Hilfe des Einbaumes an eine andere schlammreiche Stelle. Alte Chroniken berichten Ähnliches vom Titicacasee in Peru. Humboldt konnte sich noch von den schwimmenden Gärten in Mexiko überzeugen.

Europa mit seinen „Waldweiden“ erkannte erst spät die Notwendigkeit einer Düngung. Albrecht von Thaer verfügte in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, daß das bis dahin frei herumlaufende Vieh eingestallt werden sollte, weil er hoffte, auf diese Weise für die damals schon sehr erschöpften Böden Stallmist zu gewinnen, um den periodisch wiederkehrenden Mißernten und Hungersnöten vorzubeugen.

Der damalige Landwirt war sich aber über die wirklichen Zusammenhänge zwischen erschöpften Böden, Stallmistdüngung und Erntesteigerung nicht im klaren. Auch heute noch folgt er vielfach bei seinem jahreszeitlich geregelten Tun einfach der Großvätertradition und ist mit seinem Boden zufrieden, wenn er genügend mit Stallmist oder menschlichen Fäkalien gedüngt ist. Er glaubt, daß diese organischen Abfälle zur Quelle neuer Fruchtbarkeit werden, denn er beobachtet ja, daß sie vom Boden gewissermaßen „verdaut“ werden, möglicherweise durch die Mithilfe der Wurzeln von Getreide, Gräsern, Gemüse und Bäumen. Die Pflanze galt damals schon als ein lebendes Wesen, das wie das Stallvieh und die Insassen von Hühnerhof und Taubenkobel ernährt werden mußte. Die Beziehung Mensch — Tier — Pflanze war klar ersichtlich: die Pflanze ernährt Mensch und Tier, Mensch und Tier ernähren wiederum die Pflanze. Diese Betrachtungsweise erklärt, daß die damalige Düngung nur die bessere Ernährung der Kulturpflanze bezwecken wollte. Dem Boden selber wurde kaum Aufmerksamkeit geschenkt, solange sich die Erkenntnis nicht durchgesetzt hatte, daß auch er lebendig ist und damit den Gesetzen des Lebens unterliegt.

Daß man durch Düngung das Wachstum der meisten Pflanzen aktivieren kann, beweist die an 7000 Jahre alte chinesische Landwirtschaft, die menschlichen Dünger nutzte. Die menschlichen Fäkalien wurden sorgfältig gesammelt

und in vergorenem und gemischtem Zustand verwendet. Jede Familie hatte dafür ihre traditionellen, bewährten Verfahren. Der Erfolg dieser Düngung steht aber ursächlich in Zusammenhang mit den bis zu 600 m dicken, an sich unerhört fruchtbaren Lößzonen Chinas. Aber diese Art von Düngung hat ihre Schattenseite. Sie ist die Ursache der immer wieder auftretenden fürchterlichen Seuchen, die in jedem Jahrhundert Millionen von Menschenopfern fordern. Ihre Erreger, die zu den Abbauern gehören, bleiben im Fäulnisdünger erhalten. Sie werden zudem noch von den mit dem Mist in Berührung kommenden Ratten in die Häuser und Städte verschleppt. So können mit einem Schlag große Gebiete verseucht werden. Zu diesen Seuchen kommen katastrophale Überschwemmungen hinzu, die das „Land der Mitte“ heimsuchen. Die Ursache dieser Überschwemmungen ist ebenfalls durch Sünde gegen den Boden bedingt. Um Ackerland zu gewinnen, wurden ganze Gebiete von Wäldern entblößt. Dazu kommen Staubstürme während der Trockenzeit und mörderische Dürren beim Ausbleiben der Regenperiode. Im Gefolge davon treten Hungersnöte auf, die, außer in Indien, sich nirgends so schrecklich auswirken wie in China. Diese Hungersnöte können durch Düngung selbstverständlich nicht verhindert werden.

Denn es gibt kaum einen Dünger, der dem Boden das, was die Pflanze ihm in einer Vegetationsperiode entzieht, zu mehr als 50% zurückgeben kann. Die anderen 50% muß die Pflanze wieder aus dem Boden herausholen. Je aktivierter das Pflanzenwachstum ist, um so mehr wird dem Boden entnommen. Aus diesem Grunde kann auch bei Wechsel der Fruchtfolge jeder gedüngte Boden nach einiger Zeit „degradieren“.

Die gewaltige Zunahme der Menschheit mit ihren umfangreichen Bedürfnissen bedeutet — vom Standpunkt der irdischen Kreisläufe aus gesehen — nichts anderes als eine empfindliche Störung der ursprünglichen Verhältnisse. Hier den Ausgleich zu schaffen, ist vordringliche Aufgabe. Der Größenwahn, unbedingter Herrscher der Natur sein zu wollen, wirft für den Menschen immer wieder neue Probleme auf. Dabei verliert er die Übersicht über die grundsätzlichen Fragen der Klima- und Bodenverschlechterung, der Erosion und der Grundwassersenkung, der Pflanzenschädlinge, der menschlichen Ernährung und des Auftretens von Epidemien. Alle diese Fragen sind eng miteinander verkettet und haben letzten Endes ihren Ursprung im Humusschwund. Das Problem ist von weltweiter Bedeutung, insbesondere in außereuropäischen Ländern, wo der Raubbau besonders intensiv und rücksichtslos betrieben wurde. Während in Europa der Mensch seit der Völkerwanderung in einer gewissen Ausgeglichenheit Grund und Boden gegenüberstand, griff er in den überseeischen Gebieten im Zeitalter der Kolonisation mit brutaler Gewalt in die Natur ein. Es entzieht sich jeder Berechnung, was die früheste und auch die spätere Kolonialwirtschaft sinnlos verschwendet hat. Wenn die heutige Menschheit unter Aufrechterhaltung ihrer derzeitigen Ansprüche weiter existieren will, so muß baldmöglichst eine Harmonie hergestellt werden

zwischen Bedarf an cerealischen Lebensgütern und deren Produktionsgrundlage: dem Humus.

Weder Stallmist- noch Handelsdünger vermögen den Verbrauch an fruchtbarer Erde ganz zu ersetzen. Handelsdünger verlangt zudem eine ausgiebige Bewässerung, denn ohne sie können „Verbrennungen und Versalzungerscheinungen“ auftreten. Auf schlechten und betonierten Böden entstehen zwar durch die „chemischen“ Düngesalze mit Wasser nährstoffhaltige Infusionen. Leider hat die Pflanze aber nicht den vollen Nutzen davon, denn das meiste rinnt ab, weil es nicht in den verklebten oder hartverbackenen Boden einzudringen vermag. Die verhältnismäßig hohen Gaben an Handelsdünger, z. B. NPK, gemischt, 200 kg pro 1 ha, oder 40 + 40 + 40 kg pro 1 ha (Rezept des mexikanischen Rockefeller-Institutes) sind deshalb notwendig, weil bei oben geschilderten Bodenverhältnissen tatsächlich nur 0,5—5% davon zur Wirkung gelangen. Diese Menge nimmt die Pflanze auf. Das übrige wird ungenutzt in das Grundwasser abgeschwemmt.

Auch bei den reichsten Urwaldböden ist die Naturquote an Mineralsalzen keineswegs höherliegend. Die Natur arbeitet niemals mit großen Depots und ist auch deshalb nicht darauf angewiesen, weil die im Humus reichlich vorhandenen lithobiontischen Mikroben ständig aus der Feinsterosion die notwendigen Mineralsalze abspalten. So ist eine enge Verknüpfung gegeben zwischen bodenchemischem Zustand und dem Mikroleben. Daher ist neben der chemischen Bodenanalyse auch stets der mikrobiologische Befund zu berücksichtigen.

Die natürlichen Dünger werden als organische Dünger bezeichnet. Sie können verschiedenster Herkunft sein, so wie es der tausendfältigen Kombination der irdischen Stofffamilie entspricht. Es gibt kaum Abfälle, die man nicht für tauglich hielt, um mit ihnen zu düngen. Sei es nun direkt, oder nach entsprechender industrieller Aufbereitung: Stall- und Tiermist aller Art, Mist aus Hühner- und Kleintierfarmen, Kaninchen- und Pelztierzuchten, Müll, Faulschlamm, Schlämme aus Maischen, Brauereiabfälle, Knochen- und Fischmehlreste, Abfälle aus Schlachthäusern, Bienenzüchtereien, von Kaffeeaufbereitungen, Lebensmittel- und Konservenfabriken, Pilzkellern, Meeres-Tange (Varec), Fischreste, Rückstände aus der Fabrikation von Ölkuchen aus Rizinus, Baumwollsaat, Sonnenblumen, Mais, Erdnüssen, Oliven und Palmnüssen. Rückstände aus Zuckerfabriken, Orangen- und anderen Fruchtsaftkellereien, der Mostbereitung. Von Kaffeewäschereien oder -trocknereien und von Marmeladefabriken, die übrigbleibende Pulpa, Rückstände von Tomaten-, Wein-, Gemüse-, Obst-Plantagen, ferner das restliche Extraktions- und Destillationsgut von Arznei- und Teepflanzen und überhaupt alles, was Garten und Feld an Massenrückständen liefern. Dazu sind noch zu erwähnen Torf und Torfrückstände, und schließlich Abfälle aus Gerbereien, Papierfabriken, dazu noch Horn- und Hufspäne, Laubstreu, Überbleibsel aus Textil- und Holzverarbeitung. Das alles wurde und wird je nach Material und Herkunft

zerhackt, pulverisiert, gemischt, gepreßt und vergärt oder geröstet als Dünger verwendet. Manches wird kompostiert, anderes filtriert, das meiste heiß getrocknet, granuliert oder verflüssigt. Hinter allem steckt nicht nur der Wunsch, noch aus den Abfällen wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen, sondern auch das Gefühl, dem Boden irgend etwas an organischer Materie, und sei sie noch so sehr verändert, zurückgeben zu müssen. Die Qualität der einzelnen Rohstoffe *ist* sehr verschieden, auch hinsichtlich ihrer Eignungen als Bodenersatz und Pflanzennahrung. Zwar findet man auf den Packungen derartiger im Handel befindlicher Bodenverbesserungsprodukte die NPK-Zahlen angegeben und glaubt damit alles getan zu haben, denn das übrige sei ja Sache des Bodens, wobei die Erde schon irgendwie damit fertig werden würde. Die Resultate mit derartigen Präparaten sind unter solchen Umständen natürlich ganz unberechenbar. So verschwanden viele solcher Produkte zumeist schon wieder nach Jahresfrist.

Derartige oft mit verlockenden Bildern und Texten ausgestattete Bodenverbesserungspräparate erhalte ich oft, um sie auf ihre Brauchbarkeit hin zu prüfen. Da gibt es z. B. welche, die höchst farbenfreudig und von unkontrollierbaren Zahlenangaben unterstützt, verkünden, daß sie „in 24 Stunden aus Sägemehl Gartenerde“ zu produzieren vermögen. Nun stellt aber gerade Sägemehl neben Reisschalen eine der hartnäckigsten aller Zellulosen und Lignine dar. Das Experiment ergibt dann auch, daß trotz genauer Befolgung aller Vorschriften das behandelte Sägemehl sich nicht mehr verändert, als sich feucht gehaltenes Sägemehl eben in dieser Zeit zu ändern pflegt.

In wachsendem Maß wird jetzt getrockneter „sludge“, d. i. der Schlammrückstand aus dem Vorfluter und dem Absetzbecken einer Kläranlage, zu Dünger verarbeitet. Man dörrt ihn rasch in Trockenanlagen, mahlt ihn staubfein und mischt ihn mit Stickstoff, Phosphat, Kali, auch mit Kalkmehl, Gips und anderen Stoffen. Wegen seiner Billigkeit und leicht handlichen Konsistenz hält man ihn für geeignet, die Rolle eines „fillers“ für alle möglichen „Nährstoffe“ und „Aktivatoren“ zu übernehmen. Die Düngemittelverordnungen der verschiedenen Staaten legen im allgemeinen nur den Stickstoffgehalt fest. Ausgefaulter und sog. „Belebtschlamm“ besitzt von vorneherein schon Stickstoff, Phosphorverbindungen, Kali, Eisen, Kalk, Mangan, Magnesium und ebenso auch Spurenelemente. Zuweilen kommen diese analytischen Werte denen natürlicher Erden ziemlich nahe. Auf Grund dieser Daten konnte mancherorts die irrige Auffassung entstehen, daß es sich bei derartigen Produkten tatsächlich um Humus handle. Die mikrobiologische Seite hat man dabei leider meist nicht berücksichtigt. Die Abwasserbiologen wissen, daß die Biozönosen der verschiedenen Abbauphasen: der polysaprophyten, α - und β -mesosaprophyten, sowie der oligosaprophyten Phase verschieden und nicht gleichermaßen zur Düngung geeignet sind. „Sludge“ ist, ob feucht oder getrocknet, selbst im angeblich ausgefaulten Zustand, stets polysaprophyt, d.h. er kann infektiöse und schädliche Stoffe enthalten. Deshalb muß er erst humifiziert werden. Auch in

der Natur gibt es in verlandenden Sümpfen und Lagunen eine Faulschlamm-bildung. Sie geht sehr langsam vor sich. Sie braucht bei dicken Schichten Jahre, oft Jahrhunderte. Die Ablagerung ist reich an Methan, Kohlendioxyd und Schwefelwasserstoff. Oft führt der Prozeß nicht bis zur Humusbildung, sondern es entstehen unter Druck auf dem Wege der sog. „trockenen Destillation“ bituminöse Stoffe. Wird „sludge“ auf technischem Wege vergoren, so ist zu berücksichtigen, daß der Prozeß der Selbstreinigung auf keinen Fall durch eine Trocknung zu einer beliebigen Zeit unterbrochen werden darf. Sie kupert nur den natürlichen Umwandlungsprozeß, der dann späterhin im Erdboden mit seinen unliebsamen Fäulniserscheinungen weiterläuft und den Boden verseucht

Heißgetrockneter „sludge“ oder Schaf- bzw. Kleintiermist werden vielfach, mit Blutresten, Fischüberbleibseln oder Rückständen von Rizinus- und Baumwollsamem vermengt, als Dünger benutzt. Den „strong odour“, d. h. den Gestank, nimmt man in Kauf, wie seit Jahrhunderten den des Misthaufens und der Jauche.

Für ein gut eingeführtes Präparat dieser Art aus USA wird folgende chemische Analyse angegeben: „bei einem Wasserverlust durch Heißtrocknung bei 110° C ist darin enthalten: 2% Wasser, 37% Proteine, 7,0% Zellulosen, 6,5% Fett, dazu 6,1% Eisenverbindungen, Sand, Schlick, Ton zusammen 30,2%, Lignine 6,5%, Hemizellulosen usw. Phosphate, Sulfate, Magnesium, Mangan, Kalk, Potassium und eine Auswahl von Spurenelementen, zusammen 6,5%.“

Dem Bodenchemiker mögen diese Zahlen also sehr günstig erscheinen. Der Bodenbiologe, vor allem der Edaphologe, ersieht aber daraus mit Sicherheit, daß diese Materie nicht durch Humifizierung entstanden sein kann, wengleich sie als „Humus“ bezeichnet wird. Sie kann keine Humuseigenschaften haben, denn dieses Düngemittel ist durch Heißtrocknung sterilisiert, wobei allerdings die sehr hitzeresistenten Sporen von Fäulnispilzen und -bakterien nicht abgetötet werden. Beim geringsten Zutritt von Feuchtigkeit - und jeder Boden ist feucht — setzt die unterbrochene Verrottung wieder ein. Die Düngemasse wird zum Keimbett für alle nur denkbaren Polysap-roben. Diese verbrauchen einen wesentlichen Teil der Proteine, Fette, Zellulosen und Mineralsalze, die dadurch der Pflanze und dem Boden verlorengehen. So beträgt z. B. die Gasumsetzung im Stallmist, allein auf Stickstoff bezogen, bis zu 70%.

Es kommt hinzu, daß unter den Polysap-roben immer pathogene Keime vorhanden sind. Fast alle diese gefährlichen Krankheitserreger sind von unerhörter Lebenskraft und Widerstandsfähigkeit. Man denke nur an die fast unüberwältlichen Milzbrandsporen, die eine Temperatur von fast 100° C zu ertragen vermögen, ohne in ihrer Keimung geschädigt zu werden. Die Tuberkelbazillen des Rindes können nachgewiesenermaßen in Luft und Sonne, in Trockenheit und Nässe über 1 Jahr leben und sind danach immer noch hochgradig ansteckend. Da sie mit den Ausscheidungen der Weidetiere auf die

Pflanzen und in den Boden gelangen, so ist eine Infektion ganzer Herden ohne weiteres zu erklären. Im Verlaufe ihres Lebenszyklus wandern die Erreger verschiedener Krankheiten zeitweise in den Boden ein. Auch sie sind Abbauer. In einem humusarmen Boden, in dem infolge der Organismenarmut der allgemeine Abbau nur sehr langsam vor sich geht, kommen sie erfahrungsgemäß binnen kurzem zu maßloser Vermehrung und überschwemmen den ganzen Boden. Dabei legen sie die gesamte Tätigkeit aller anderen, vor allem der aufbauenden Mikroben lahm. Mit ihren reichlich gebildeten Kolloiden — man braucht sich nur an die „Kahmhäute“ auf faulenden Flüssigkeiten zu erinnern — verstopfen sie alle Kapillaren, verkleben die feinen Bodenkrümel miteinander und schaffen Verhältnisse, in denen die „Aeroben“ auf Grund von Sauerstoffmangel nicht gedeihen können. Die Bodenbesiedelung wird auf „anaerob“ umgeschaltet. Darunter leiden die sehr sauerstoffbedürftigen Wurzeln unserer Kulturpflanzen. Sie verkümmern, werden oftmals von Infektionen angefallen und beginnen zu faulen.

Es setzt im Boden eine rückläufige Entwicklung ein. Die Nitrate werden wieder in Nitrite, diese in Ammoniakverbindungen übergeführt, welche das gegebene Milieu für alle Zersetzer darstellen. Ammoniak tritt auch beim Eiweißzerfall auf. Jede Organismenart schafft sich ihre Umwelt ohne Rücksicht darauf, ob diese den übrigen Teilnehmern bekömmlich ist oder nicht. Es gehört aber zum Wesen des Humus, daß keine Organismengruppe eine beherrschende Rolle spielt, sondern daß das Edaphon eine wohlausgewogene, harmonische Lebens- und Arbeitsgemeinschaft darstellt.

Der Ausgleich zwischen organischen und anorganischen Komponenten, zwischen Aufbau und Abbau, die ständig pendelnden Vorgänge zur Erhaltung eines allen nützlichen Gleichgewichtes müssen daher im Vordergrund jeder bodenkundlichen Betrachtung stehen: Humus kann nur dann gebildet werden, wenn alle edaphischen Lebensgruppen an der Humifizierung teilnehmen. Sie müssen zum richtigen Zeitpunkt unter den ihnen eigenen Lebensbedingungen arbeiten können. Fehlt die eine oder andere Organismengruppe oder ist sie falsch eingeschaltet, so ist die Gesamtleistung beeinträchtigt, bzw. wird die Humusbildung verzögert.

Nur über das Edaphon vollzieht sich der gesamte Umbau aus dem Nachlaß des Todes.

Darum ist jede Art von Dünger daraufhin zu prüfen, ob er das Edaphon fördert, unterstützt oder — ob er es schädigt. Das ist die Kernfrage.

Anorganische Düngung

Gerne wird „Walderde“ für Blumenzuchten verwendet. Sie sieht schön dunkel aus, riecht höchst angenehm nach Wald und Pilzen und gilt darum als geradezu wundertätig. Das stimmt, wenn es sich um Laubwalderde handelt, trifft aber nicht zu für Nadelwalderde. Letztere reagiert sauer (pH 3—5), hat

eine hohe Pilzdominante und ist darum für unsere Kulturgewächse ungeeignet.

An rein anorganischen Düngemitteln kommen zur Verwendung: Phosphate, Kalisalze, Kalk, Nitrate, Sulfate sowie Spurenelemente. Hier muß auch Sand, besonders Flußsand genannt werden, mit dem der Gärtner einen schweren Boden leichter und lockerer zu machen versucht.

Dort wo er vorkommt, ist der Montmorillonit als Bodenverbesserer beliebt. Er ist ein Abkömmling der Feldspate und vermag reichlich Wasser zu speichern und damit „den Boden zu binden“. Als Ersatz für ausgewaschenen Kalk wird meist gewöhnlicher Düngekalk, ein reiner Brandkalk, gegeben. Günstiger wären aber Knochenmehl und pulverisierte Muschelschalen, weil diese Substanzen organisch durchprägt und immer etwas eiweiß- und phosphorhaltig sind. Leider sind diese letztgenannten Produkte nicht in genügender Menge und preiswert genug vorhanden, so daß sie vorerst nur für den Gärtner in Frage kommen.

Kiesel säurebedarf wird gedeckt aus Obsidianen und Laven, die jedem vulkanischen Boden angehören. Erstere schließen sich in Fristen auf, die das menschliche Dasein im allgemeinen weit überdauern. Laven dagegen verwittern meist rasch. Sie sind oft von Phosphorverbindungen begleitet und versäuern leicht den Boden. Der Phosphatreichtum verleiht den Böden Fruchtbarkeit. Sie benötigen weniger Dünger als Kalkböden, weil sie der Auswaschung Widerstand entgegensetzen. Sowohl die Vega von Neapel, als auch die von üppigen Urwäldern überwachsenen vulkanischen Südseeinseln, leben von der Verwitterung von Lava. An vielen Küsten wird nach ererbtem Urväterbrauch betonharter, roher Schlick zerstampft und trotz seines ausgeprägten Salzgehaltes auf Gartenböden gestreut. Auf wirklich „süßen“ Böden würde er wahrscheinlich durch seine „Salzmikroflora“ mehr Schaden als Nutzen anrichten, aber hier, wo Salzsand-Dünen den Untergrund bilden, sind die Pflanzen an Salz gewöhnt und vermögen sich den Naturgegebenheiten erstaunlich anzupassen.

Es gibt Gärtner und auch Landwirte, die auf Bauschutt schwören, sogar wenn er voll von Zement ist, der zu den schwerst aufschließbaren Substanzen überhaupt gehört. Aber die Mischung von Kalk und Kalkprodukten verwittert rasch und verleiht saueren Böden eine leichte Alkalisierung. Ist der Boden, dem der Bauschutt zugeführt wird, zufällig lithobiontenreich, so erfolgt die Aufschließung rasch, und es ist tatsächlich ein Erfolg zu verzeichnen, der aber vor allem dem Kalk zuzuschreiben ist.

Seit etwa einem halben Jahrhundert werden sog. „Steinmehle“ aus verschiedenen Mineralien als Universaldünger wahllos für jeden Boden und sämtliche Pflanzenkulturen angepriesen. Dabei bleiben der Mineralgehalt des zu verbessernden Bodens sowie die Auswirkung des Mineralzusatzes auf das Edaphon gänzlich unberücksichtigt. Eine bedeutende Rolle spielt die Düngung mit Nitraten. In weltfernen Dörfern wird noch immer Salpeter von

Haus- und Felswänden gekratzt, aber im allgemeinen kommen Chilesalpeter oder synthetisch erzeugte Nitrate zur Anwendung. Als „Superphosphate“ sind im Handel floridanische Phosphate, Reste uralter Tierfriedhöfe, oder Phosphate aus den tunesischen Phosphatgruben von Gafsa.

Doch ist diese Liste aller gebrauchten Mineraldünger nicht vollständig. Sie will nur das Prinzip der anorganischen Düngung umreißen. Welche Bedeutung dem Mineral zukommt, läßt sich aus dem Kreislauf ersehen, innerhalb dessen das Anorganische in organische Verbindungen eingebaut wird und in solchen lange Zeit von Körper zu Körper wandern kann, bis es schließlich wieder in die mineralische Welt des Bodens zurückkehrt. Das an Eiweiß oder Protoplasma gebundene Mineral wie auch das im Blute oder in den Pflanzensäften kreisende anorganische Ion leisten einen unentbehrlichen Beitrag zu den physiologischen Lebensprozessen. Es ist dynamisch in den Stoffwechsel eingefügt. Darum vermag auch z. B. die ältere Pflanze Kalk und Kieselsäure in Form von Kristallen, Nadeln, Raphiden und Sanden wieder aus ihrem Stoffwechsel auszuscheiden und im Zellgewebe abzulagern. Mit fortschreitender Jahreszeit steigt der Gehalt der Blätter an Kalk und Kieselsäure kontinuierlich an. Die Pflanze entledigt sich dieses Mineraldepots im herbstlichen Laubfall. Auch beim alternden tierischen und menschlichen Organismus wird Kalk aus dem Stoffwechselkreislauf ausgeschieden und abgelagert. Durch Blattfall, Stoffwechselausscheidungen und schließlich durch Auflösung des toten Organismus gelangen Mineralien wieder in den Boden.

IV. WIE BEREITET MAN HUMUS?

Aus Stadtabfällen

Die Städte verfügen über gewaltige Mengen an Müll, an unhygienischen und nicht ungefährlichen Abfällen, deren Unterbringung stets ein Problem war.

Andererseits wäre die Landwirtschaft dankbar, wenn sie durch gesteuerte Humifizierung der riesigen Mengen großstädtischer Abfälle Reserven bekäme, um ihren Humusmangel auszugleichen. Bisher sahen sich die meisten Städte gezwungen, ihren Müll zu verbrennen, trotz der Nachteile, die damit verbunden sind. Eine Müllverbrennungsanlage erfordert beachtliche Investitionen an Baulichkeiten und Unterhaltungskosten. Die annähernd 40% Erde enthaltende Materie kann nur bei großen Hitzegraden verascht werden. Den Vorteil der Müllverbrennung sieht man darin, daß die Abwärme für Fernheizwecke benutzt werden kann und daß die Abfälle tatsächlich schnell beseitigt sind. Es fragt sich allerdings, ob der Betrieb eines Fernheizwerkes als solcher nicht billiger kommt! Alles in allem bedeutet Müllverbrennung ein schlechtes Geschäft und ist geradezu unverantwortlich, weil dadurch wertvolles Ausgangsmaterial für Humusneubildung vernichtet wird. Ich habe einmal in einer Stadt in der Schweiz einen solchen Kampf pro und contra Müllverbrennung miterlebt, bei dem das Für und Wider zur Diskussion kam. Bei der entscheidenden Abstimmung gaben aber leider nicht die nüchternen Zahlen und sachlichen Vergleiche den Ausschlag, sondern letzten Endes ein gewisser Abscheu vor Müll als Rohstoff überhaupt. Die Stadtväter wollten es einfach nicht glauben, daß man daraus einen sanitär einwandfreien Humus herstellen könne. So entschlossen sie sich gegen den Willen der Hälfte der Bürgerschaft für die Verbrennung, obwohl bekannt war, daß in anderen Schweizer Städten damit schlechte Erfahrungen gemacht worden waren. Die anliegenden Stadtteile führten ständig Klage wegen Belästigung durch den stinkenden Rauch.

Zahlreiche großstädtische Müllverwertungsbetriebe sortieren maschinell Glas, Porzellan, Metalle, Fetzen, Gummi u. dgl. aus. Andere zerkleinern den gesamten Rohmüll zu Pulver, um sich die Aussortierung zu ersparen. Der fein zerkleinerte Rohmüll wird durch Heißtrocknung vom üblen Geruch befreit und zu Düngezwecken angeboten. Auf Wiesen und Weiden, die mit diesem unverrotteten Mahlgut, das man auch als „Humus“ anpreist, gedüngt wurden, führten jedoch die darin enthaltenen vielen Glas- und Porzellansplitter zu schweren Darmverletzungen der Weidetiere.

In allen gemäßigten, und noch mehr in den nördlichen Klimata sind die Aschenrückstände im Müll sehr groß. In Schweden betragen sie z. B. fast jahraus, jahrein 40—50% der gesamten Müllmenge. Sie zersetzen sich nur

sehr schwer. Ihre Verrottung bedarf einer Steuerung und Überwachung. Grundsätzlich müssen sie mit allen möglichen Abfällen organischer Herkunft, z. B. Schlachthofabfällen und Abfallprodukten aus Lebensmittelfabriken gemischt werden. Die „Westerly Plant“ in Cleveland hilft sich so, daß sie die anfallenden Aschen auswäscht und in den Lake Eric schwemmt. Das stellt freilich eine Sonderlösung dar, die u. a. auch deshalb nicht empfohlen werden kann, weil dies zu einer raschen Verlandung der Seen führt.

Sorge machte seit jeher die saure Koksasche aus Industrierwerken. Zwar behauptete man immer wieder, daß sie, gemischt mit Feinmüll, bei ungestörter längerer Lagerung humifiziert. Diese Auffassung ist aber unrichtig. Mehr als 25 Jahre alte Müllhaufen der Stadt Budapest zeigten sich nach dieser langen Lagerung immer noch unverrotet.

Auch hier im subtropischen Klima von Mexiko gibt es ganze Gebirge alten Mülls, die z. B. in „Quatros Caminos“ etwa zwei Jahrzehnte liegen. Sie sind ebenfalls nicht ganz aufgeschlossen. Um sie in Humus zu verwandeln, bedarf es noch einige Zeit gesteuerter Humifizierung.

In der holländischen Stadt Amersfoort bekam ich sogar als besondere Kuriosität „Müllkohle“ zu sehen, schwarzgebrannte, durch und durch verkohlte Stücke, die aus einem vergessenen, über 100 Jahre alten, mit Gras bewachsenen Müllhaufen der damaligen Stadtabfuhr stammten.

Primitive Naturvölker nehmen keinen Anstoß am Gestank und unappetitlichen Aussehen von Abfallhaufen, die neben und zwischen den Hütten lagern. Sie häufen sich Generationen lang und verschwinden nie, weil man immer neue Rückstände darauf wirft. Oft sind sie von üppiger Ruderalflora bewachsen, die sich ihren Teil an faulenden Proteinen und Zellulosen herausholt. Sie bilden eine dauernde Infektionsgefahr für das ganze Dorf. Allerdings scheint es, daß der Eingeborene eine Anpassung an dieses Milieu besitzt. So mag es auch bei den „Kjökkermöddingern“ (Ablagerungen von Speiseabfällen an den Küsten Jütlands und Seelands aus der Steinzeit) und bei den gigantischen Abfallhaufen der verschollenen asiatischen Stadt Ur gewesen sein. Als man die vor der Stadtmauer aufgehäuften Haufen schichtweise abtrug, ließen sich aus den Schichtungen die aufeinanderfolgenden Kulturperioden deutlich herauslesen. Heute ist man aber vielfach bemüht, aus Stadtmüll unter Beimischung von Kanal- und Industrieschlämmen sowie anderen mehr oder weniger faulfähigen Substanzen humusartige Produkte herzustellen. Ganz besonders in USA werden laufend Reihen von Rezepten durchgeprobt, die alle darauf hinausgehen, in kürzester Frist den Stadtmüll verwertbar zu machen.

Aus den Berichten, die einige Universitäten der westlichen Staaten von USA nun schon seit Jahren herausgeben, ist eine Übersicht der gegenwärtig gebräuchlichen Methoden zu entnehmen. Eine dreitägige, achttägige bis dreiwöchige Verrottung wird z. B. für genügend erachtet, um bei nachfolgender Heißtrocknung bis zu 150° C und Pulverisierung ein hygienisch einwand-

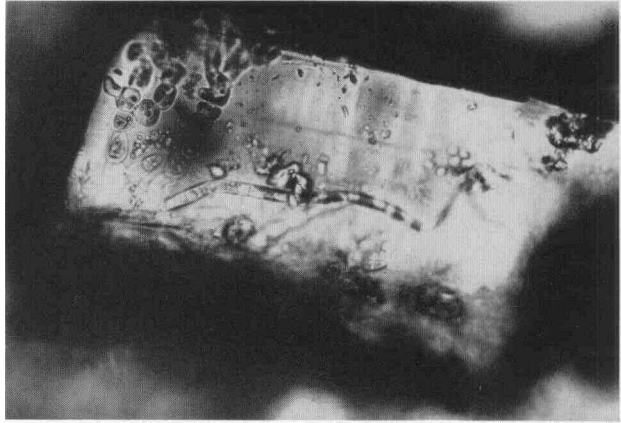
freies Produkt zu erhalten. Nach den Vorschriften wird es noch mit einer vorgeschriebenen Quantität von Düngesalzen vermischt. Von einer Organismen-tätigkeit, Abbauprozessen, biologischen Abläufen, Wasser- und Luft-führung ist leider keine Rede mehr. Das Positive eines derartigen Verfahrens beschränkt sich lediglich auf das zugkräftige Werbemoment einer raschen Aufbereitung. Wenn man aber eines dieser so schwunghaft angepriesenen Produkte untersucht, zeigt sich immer wieder dasselbe: Sobald der angeblich unvergleichliche „Humus“ mit Wasser in Berührung kommt, beginnt er nach faulendem Müll zu stinken. Der noch nicht aufgeschlossene und biologisch abgebaute Anteil, der sich sozusagen in einem Zustand der ersten Fäulnis befindet, macht bis zu 49% aus. Was sich darin an resistenten Sporen zu entwickeln vermag, erscheint binnen 24 Stunden. Es handelt sich dabei ausschließlich um polysaprobe Biozöosen. Weitere Mikroorganismen kommen aus Luft und Boden. Sie verzehren in kurzer Zeit die Ammoniak-, Schwefel-, Phosphor- und Salpeterverbindungen. So haben weder Pflanzen, noch Boden einen wirklichen Nutzen von solchen, meist kostspieligen Produkten.

Um die „Nachfäulnis“ auszuschalten, kombiniert man neuerdings das erwähnte Verfahren mit künstlicher Sauerstoffdurchlüftung. Es wird vorge-schlagen, die Rohbeete jeden Tag oder wenigstens jeden dritten Tag umzu-schaukeln, Luftröhren einzubauen, durch elektrische Anlagen mit Vehemenz Luft einzublasen oder bestimmte, Sauerstoff entwickelnde Chemikalien gleich zu Anfang dem Substrat beizumischen.

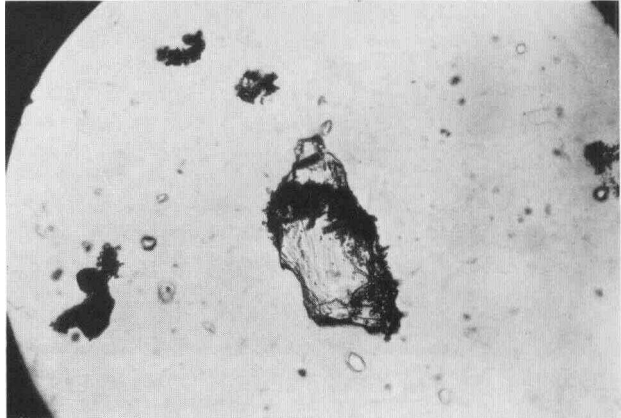
In der Praxis aber sind alle derartigen Verfahren teuer, schwierig und das tägliche Umsetzen — z. B. bei großen Mengen — gar nicht durchführbar. Au-ßerdem beruht alle künstliche Durchlüftung auf einer ungenügenden Kennt-nis der tatsächlichen Verrottungsvorgänge. In den ersten paar Wochen wird intensive bakterielle Eigenwärme entwickelt, die bei hohen Zellulosemengen eine Temperatur bis zu 85° C erreichen kann. Diese Hitze trägt zur Zermor-schung der Stoffe bei und ist für die Leistungsfähigkeit der primären Zerset-zer Voraussetzung. Durch Einblasen von Luft auf technischem Wege wird aber die notwendige Temperatur herabgesetzt und dadurch die erste organische Aufschließung gehemmt oder gar verhindert. Weiterhin bedeutet diese Luft-zufuhr eine Störung im Sauerstoffhaushalt der Anaeroben, welche ihren Sauerstoffbedarf nicht aus der Luft, sondern aus den Zersetzungs Vorgängen decken. Im Innern des Rohbeetes leben sie in einem sehr sauerstoffarmen Milieu. Auf einen Überfluß an eingeblasenem Oxygen antworten sie mit einer verlangsamt und ungleichmäßigen Zersetzungstätigkeit. Bei jeder Art von organischer Verrottung treten die Aeroben in den für Luft und Licht noch zugänglichen Außenschichten auf, die Anaeroben aber in den inneren Zonen, wo sie durch ihre Tätigkeit Schwefelwasserstoff, Methan, Kohlensäure, Sauerstoff usw. freisetzen und sich dadurch ihr eigenes Lebensmilieu schaffen.

Aus alledem ist zu ersehen, daß technische Eingriffe in die natürlichen

Aufgespaltener
Mineralsplitter
mit Innenbesiedelung
von Bakterien
und grünen
Mikroalgen

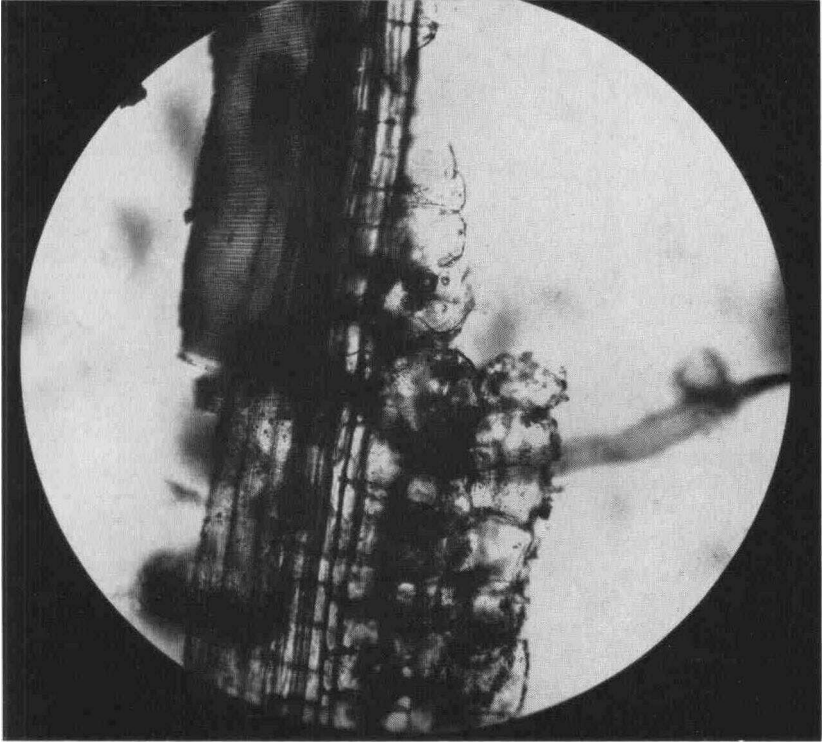


Ein Kranz von
Mikroalgen umgibt
einen Silikatsplitter
und zersetzt ihn



Nachdem die
Lithobionten Vorarbeit
geleistet haben, besiedeln
höhere Pflanzen einen
Granitblock





Zellulose-Abbau im Rohbeet: Verrottender Maisstengel unter dem Mikroskop

TAFEL V

Vorgänge wohl überlegt sein müssen. Sie dürfen keinesfalls die biologischen Vorgänge hemmen.

Es gibt sog. „Starter“, die gemischtes Abfallmaterial in abgekürzter Zeit zersetzen sollen. Städtische Abfälle enthalten stets, schon der unterschiedlichen Herkunft wegen, sämtliche Arten einer polysaprophytischen Mikroflora und Mikrofauna in ungeheuren Mengen. Im mikroskopischen Bild erscheinen dichte Wolken und Schleier von Bakterien. Ihre Vermehrungsintensität ist enorm, da sich Bakterien zumeist alle halbe Stunden zu teilen pflegen. Ein „Starter“ — darüber wird später noch zu sprechen sein — ist dann notwendig und gerechtfertigt, wenn es sich um große Mengen einförmiger, schwer aufschließbarer Abfälle handelt. Bei Materialien, die einseitig betont oder ausschließlich aus Zellulosen, Eiweißen, Fetten oder sonstigen monogenen Massen bestehen, wie sie z. B. als Industrieabfälle anfallen und in dieser speziellen Häufung in der Natur überhaupt nicht vorkommen, bedarf es der Zufuhr einer entsprechend zusammengesetzten Biozönose von Aufschließern. In Schlachthäusern dagegen, wo Blut, Haut- und Knorpelfetzen und Darminhalt der Tiere zusammengekehrt und -geschüttet werden, sind die Zersetzer in großer Zahl von vorneherein vorhanden.

Die erste Phase der Aufschließung wird durch aerobe Mikroben eingeleitet. Unter ihnen findet man immer *Bacillus subtilis*, *Bacillus tumescens* u. ä. Die Biozönose umfaßt auch eine Begleitflora und -fauna von Protozoen, Amöben und Nematoden. Sie wird bald abgelöst von den fakultativ Anaeroben, d. h. einer Flora, die je nach den Umständen mit oder ohne Luftsauerstoff zu arbeiten vermag. Die Dynamik des Lebensprozesses verlangt auch von den Organismen größte Anpassungsfähigkeit. Die fakultativ Anaeroben decken ihren Sauerstoffbedarf aus der Luft oder aus dem Zersetzungsprozeß. Möglicherweise sind sie auf Grund dieser Fähigkeit die älteste Form der Polysaprophyten. Ihr Doppelleben macht es ihnen möglich, sich auch dort anzusiedeln, wo eine ausgesprochen aerobe Flora allen verfügbaren Sauerstoff für sich beansprucht.

In der Natur gibt es stets Symbiosen zwischen fakultativ und obligat Anaeroben. Zu den letzteren zählen die großen Familien des *Bact. amylobacter*, *Bact. putrificus* und viele thermophile Bakterien. Sie sind sowohl an der Eiweiß-, wie an der Zellulosezersetzung beteiligt, wandeln Eiweiße in Peptone um, bauen Stickstoffverbindungen zu Ammoniak ab, schließen Zucker und Fette auf. Nun ist ja auch Ammoniak im Boden nur ein flüchtiges Zwischenprodukt. In natürlichem Boden schwankt der Ammoniakgehalt zwischen 0,0005 und 0,002%. Der Praktiker soll daher die Tätigkeit sowohl der aeroben (die schließlich dann den Abbau-Prozeß überwiegend beendigen), als auch der anaeroben Mikromitarbeiter nach Möglichkeit nicht stören. Er soll nicht dort und dann lüften, wo Luftzufuhr nicht am Platz und nicht an der Zeit ist. Er soll die Luftbedürftigen nicht nach unten schaufeln und die Luftfeindlichen nicht nach oben. Er soll daran denken, daß die unsichtbaren

Helfer schon seit vielen Jahrillionen auf ihre Arbeit optimal eingestellt sind.

Jede Schichtung im Rohbeet ist von Übel. Man erhält durch sie stets ein ungleichmäßiges, oft sogar verklumptes Produkt mit restierenden Fäulnisinseln, die dann mühsam herausgelesen und später fertig verrottet werden müssen. Für jede Art von richtiger Humifizierung gilt, daß man so gut als möglich die Rohstoffe miteinander vermischen muß, bevor man das Rohbeet aufsetzt. Nur dann wird der gewonnene Humus gleichmäßig und man hat weder Verluste, noch überflüssige Arbeit. Alle die ausgetüftelten Theorien mit zentimeterweiser Überlagerung verschiedener Abfallsbstanzen kann man im Laboratorium anwenden, wo sie dann und wann sogar interessante wissenschaftliche Resultate ergeben. Der Einzelne mag sie vielleicht in seinem Klein-Garten anwenden. Städte mit einem Jahresanfall von vielen Tausenden Kubikmetern Müll und Kanalschlamm können nicht nach einem „Schichtungsverfahren“ arbeiten.

Die Gefahr unwissentlich ausgestreuter Infektionen ist erfahrungsgemäß bei den sog. Gärtnerkomposten nicht selten. Das ist begreiflich, nachdem die Qualität ihres Mikrobengehaltes nie überprüft wird. Meist dürften sie nicht unter 2—3 Jahren „reif werden“. Sie sehen dann schön schwarz aus, duften frisch und haben meist auch eine gute Krümelstruktur. Ihre Verrottung bleibt stets sich selbst überlassen. Im allgemeinen behandelt man sie als eine Art von Misthaufen und wirft ständig immer neue Abfälle darauf, wie sie die Jahreszeit eben bringt. So geht die Zersetzung einen anderen, vor allem viel langsameren Weg, als den wünschenswerten.

Nicht die rapid arbeitenden Bakterien haben dabei die Oberhand, sondern die viel langsamer aufschließenden Fäulnispilze. Sie sind sämtlich auf Zellulosen, Zucker, Lignine, Hemizellulosen, Pentosane usw. spezialisiert. Eine ihrer Hauptleistungen besteht in der Umwandlung von Mono- und Polysacchariden zu Säuren. Viele von ihnen gehören zu den sog. „Fungi imperfecti“. Dazu zählen alle Schimmelpilze, die Fusariumarten, die Familien der Cladosporien, Alternaria, Verticillien, Trichoderma, Nectria, Sclerotinia, fast alle Rost- und Brandpilze usw. Sonst findet man in Komposthaufen stets noch alle möglichen Strahlenpilze (Actinomyceten) und nicht selten die unliebsamen Phytophthora- und Peronosporakeime, sowie beinahe ausnahmslos die allen Gärtnern und Obstzüchtern so verhaßte Monilia. Die Tropen und Subtropen sind reich an verschiedenen Myzelhefen, die halbwegs mit zu den Pilzen zu zählen sind und unter dem Familiennamen „Candida“ zusammengefaßt werden.

Zur Verrottung tragen also Bakterien sowie Pilze bei. Der bakteriell bedingte Abbau verläuft intensiver, da die sich zu astronomischen Ziffern vermehrenden Bakterien rascher und gründlicher arbeiten, als die Fäulnispilze vermögen. Es ist dies von Natur aus bedeutsam, weil die bakterielle

Zersetzung organischer Substanz zu niedermolekularen Verbindungen schon aus hygienischen Gründen so schnell wie möglich verlaufen soll. Außerdem ist aller Abbau auf der Erde so geordnet, daß mit der Fäulnis, Verwesung und Zersetzung auch die Zersetzer und Abbauer wieder verschwinden. Die meisten werden von ihren Nachfolgern gefressen, teils wandern sie ab. Aus Fortpflanzungsgründen müssen sie sich nach vollzogener Arbeit ein neues Schlaraffenland suchen. Beginnt erst einmal, nach Verschwinden der letzten Fäulnisherde, der Humusaufbau durch oligosaprobe Organismen, so ist von den Polysaprotrophen normalerweise nur noch jenes biologische Minimum vorhanden, das zum natürlichen, gesunden Gleichgewicht eines jeden Bodens gehört. Sonst könnte die Humifizierung kleinerer Mengen abzubauen nicht stattfinden. Es verläuft ja ständig der Zyklus zwischen Leben und Tod und für seine Ordnung ist die Gegenwart einer Mindestmenge vereinzelter Zersetzer unerlässlich.

In der Natur wird davon kein Aufhebens gemacht. Anders verhält es sich jedoch dort, wo durch eine unkontrollierte Kompostierung die Gruppe der Zersetzungspilze dominant geworden ist. Zunächst äußert sich dies in der Verrottungs/rist. Die Bakterienarbeit wird durch das Überhandnehmen von Pilzen stark eingeschränkt, denn Bakterien und Pilze unterscheiden sich grundsätzlich auch in ihren Lebensbedingungen, obwohl sie auf denselben Lebensraum angewiesen sind.

Beim Zelluloseabbau tritt immer eine gewisse Versäuerung auf, die als Lebensbedingung für die zellulosezersetzenden Bodenpilze charakteristisch ist. Die Aspergillaceen, Mucorineen und Penicillien bilden z. B. aus Kohlehydraten Glukon-, Zitronen- und Fumarsäure u. ä. Der Abbau von Zellulosen durch Pilze ist also durch einen sauren pH-Wert gekennzeichnet.

Die durch die Zellulosehumifizierung hervorgerufene Versäuerung schwindet, sobald die Zersetzung beendet ist. Dominieren die Zersetzungspilze, so weist dieser Boden jedoch einen pH-Wert von 3-5 auf. Bakterien dagegen sind mit verhältnismäßig wenigen Ausnahmen auf ein alkalisches Milieu eingestellt.

Die Aufschließung von zellulosereichen Komposten verläuft ähnlich wie die Bildung der Nadelwalderde. Ihre Entstehung beruht auf der Abbauarbeit von Pilzen und der Darmtätigkeit vieler holz- und nadelwerkfressender Insektenlarven. Ebenso wie die Nadelwalderde liefern auch die meisten Komposthaufen nur ein mehr oder weniger saures, dem Rohboden ähnliches Ergebnis. Darin finden sich immer Keime von Pflanzenkrankheiten, die alle dem großen Heer der Abbauer angehören, die ihrer Natur gemäß an der lebenden ebenso wie an der toten Pflanze abbauen. Die Erreger von Pflanzenkrankheiten sind meistens parasitäre Pilze.

Dem Gärtner oder Landwirt ist es nicht möglich, jeden Pflanzenrest auf Pilzbefall zu prüfen. Meist läßt sich dieser überhaupt nur mikroskopisch feststellen. Die Infektion gelangt in den Komposthaufen und verbleibt darin,

auch wenn die Aufschließung richtig verläuft. So wird ein unsachgemäß angelegter Komposthaufen mitunter zum Ausgangsherd des ständig zunehmenden Monilia-, Fusarium- und Peronosporabefalls der Gewächse.

Man sieht also, Humifizierung und Humifizierung sind nicht immer dasselbe. In der Natur wird freilich immer Humus aus jedem Abfall. Aber das rührt davon her, daß ihre Abfälle gegenüber denen der menschlichen Zivilisation grundverschieden sind. Die Verrottung in der Natur, z. B. die des Laubes, verläuft regelmäßig nach dem althergebrachten Schema. Das ist etwas Selbstverständliches, aber nur dort, wo wirklich noch unberührte und unverwüstete Natur ist.

Auf vielen Reisen habe ich das Glück gehabt, manchmal wirkliche Natur zu sehen. Ein Eindruck blieb mir in besonderer Erinnerung. Er zeigte mir, daß man unter Umständen Kulturgewächse hochbringen kann, die denen eines Urwaldes nicht nachstehen.

Es war an der äußersten Südspitze von Baja California, fern von allem Straßen-Verkehr und nur durch einen eben errichteten Flugplatz mit dem Festland verbunden. Das Ganze war ein weiter offener Kessel, sonnenheiß, ganz typisch eine riesige, nun fast ganz ausgetrocknete Lagune. Eine Landschaft, wie sie für das einst wasserreiche Mexiko charakteristisch ist. Oben am Rand wucherte die übliche Kaktusflora. Schon bildeten sich kleine Flug-sandstellen und die Erde bestand aus völlig erodiertem Tonsand, glitzernd von Millionen Silikatsplittern. Denn von der Kaktusformation bis zur Halbwüste und Wüste sind es nur ein paar Schritte.

Direkt unter dem Kesselrand lagen Maisstriche, etwas magere Alfalva, niedrige und sehr trockene Weizenfelder. Gegen die Mitte zu waren die Böden merklich besser und auf den unbebauten Streifen hörte die Kaktusmacchia auf. In der tief eingesenkten Mitte aber tauchte dunkles Grün urwaldähnlich empor. Diese Stelle kennzeichnete zweifellos den Rest der einstigen Lagune.

Es war ein Paradies.

Das Paradies bestand aus alten Mango- und Aprikosenbäumen und Zuckerrohr. Winzige grüne Inseln wurden durch schmale, klare Bäche verbunden, auf denen smaragdne Algenpolster schwammen und deren Ränder voll von frischen Wasserkräutern waren.

Man erzählte mir, 2—3mal im Jahr würde das Zuckerrohr geschnitten, sonst geschähe nichts. Niemand kümmere sich um diesen schwarzen, herrlich lockeren Boden, der weich und luftreich wie ein Schwamm dalag. Die Zuckerrohrhalme wuchsen an die 4 m hoch und schossen fast armsdick auf, mit ganzen Bündeln von junger, natürlicher Bestockung. Von den riesigen, dunkelverschatteten Mangobäumen regneten die reifen Früchte, die um diese Zeit niemand pflückte. Der Boden war überdeckt mit einer an manchen Stellen halbmeterhohen Schicht pflanzlicher Reste, faulender Früchte, von Zweigen, dürren Blättern und Halmen. Ich bekam einen überwältigenden Begriff von dem, was ich das „Zellulosekapital der Erde“ nennen möchte. Was aber wird

dagegen heute noch im Garten und auf dem Felde von der Landwirtschaft sinnlos vertan!

Zellulose ist auch nach dem Tod der Pflanzen ein Reichtum, den man solange nicht würdigte, als er in der Natur überall vorhanden war. Heute kennen wir ihn nicht mehr in solchen Ausmaßen. In der alten Welt begegnete mir ein solches „Zelluloseparadies“ in Südinien. Es war in jener Urwaldzone, wo man aus einem unbeschreiblichen Wirrsal von Schlingpflanzen und Riesenbäumen die verschollene ceylonische Stadt Anuradhapura ausgrub.

Die biologische Untersuchung des in Baja California gefundenen unvergleichlichen Naturhumus förderte denn auch entsprechenden Überfluß anorganischer Substanz, belebt von unzähligen Organismen, zutage. Es war alles vertreten, was man als zum Edaphon gehörig ansieht. Dieser Boden war Leben bis in die kleinste Krume. Er zeigte ein harmonisch geordnetes und abgestuftes Leben, in dem der Abbau sich unmittelbar wieder in Aufbau umwandelte. Es war eine einzige oligosaprobe Riesenbiozönose, alles auf pH 7–7,5 abgestimmt. pH 7 bedeutet die Ausgleichszahl zwischen sauer und alkalisch. Eingebettet in dieses Mikroschlaraffenland lagen einzelne Silikatsplitter (während die Böden oberhalb des Kesselrandes nur aus ausgewaschenen Silikaten bestanden), aber auch sie waren mit Kolonien von Bodenalgen und lithobiontischen Zersetzern völlig überkrustet.

Die Nachprüfung ergab, daß das Verhältnis der Organismengruppen untereinander fast dem Idealzustand nahekam, der etwa folgendermaßen charakterisiert ist:

Bakterien	27%
Bodenalgen	20%
Diatomeen	9%
Bodenpilze	9%
Rhizopoden und Amöben	11%
Infusorien (Flagellaten und Ciliaten)	6%
Rotatorien	3%
Nematoden	2%
Autochthone Mikroflora (Nannedaphon)	8%
Zysten und Sporen	5%
Bodenleben zusammen = 100% Edaphon	

Nach diesen Verhältniszahlen hat sich jede Humusproduktion zu richten!

Man muß nun damit die Zahlen vergleichen, die von Kulturböden stammen, zumindest von solchen, auf denen Menschen seit unterschiedlichen Zeiten siedelten oder noch siedeln.

Die menschliche Besiedlung und die Bodenbewirtschaftung haben das Bodenleben verändert. Stallmist und Jauche-Düngung, auch die mit Ammoniaksalzen, vermehrt stets die Bakterien. So ist es zu erklären, wenn eine

mehrfach bestätigte Angabe in 1 Gramm gutem Boden 1—5 Milliarden Bakterien nennt, aber nur 50—100 000 Bodenalgeln und nur 10 000 verschiedene Protozoen. Die polysaprophyten und Fäulnisbakterien, die mit jeder Stallmistdüngung in den Boden einwandern, halten sich noch lange Zeit auf Grund ihrer Resistenz. Sie herrschen heute auf allen Kulturböden vor und lassen in ihre Abbaubiozönose nur schwer eine andere Biozönose eindringen. Dagegen schließen sich immer Unmengen, meist fakultativ anaerober Bakterien an, deren Tätigkeit noch gar nicht durchschaut ist. So findet man z. B. Schwefelbakterien oder Propionbakterien in gesundem Naturhumus nur sehr vereinzelt. Oben erwähnte Tatsache wird durch eine Angabe aus der Schweiz bestätigt, die aus dem Anfang dieses Jahrhunderts stammt, also aus einer Zeit, als man dort noch überwiegend mit Stallmist düngte. Es fanden sich in 1 Gramm Erde:

In Gartenerde = 4,3 Millionen Mikroben
In Wiesenerde = 3,8 Millionen Mikroben
In Ackererde = 9,5 Millionen Mikroben

Laubwalderde enthält bis zu 33 Millionen Mikroben, sogar noch mehr, wenn sie aus Laubmischwald stammt. Auf Nadelwaldnordseiten sinkt die Keimzahl zuweilen bis auf 1,1 Millionen. In malaiischen Böden wurden im Mittel nur 500 000 Organismen in 1 g Erde festgestellt, während Ural-Löß, sogar noch in eineinhalb Meter Tiefe, 18 Millionen Mikroorganismen enthält.

Auf einem Hektar guten Bodens finden sich in Europa 400—500 kg Bakterien und 400—500 g Bodenalgeln. Für den Edaphologen sind diese Zahlen eine sichere Garantie dafür, daß mineralische Aufschließung und Neubildung von organischer Substanz gegeben sind. Die Höhe der Keimzahl läßt auch auf Artenzahl schließen. Eine niedrige Keimzahl deutet auf Artenarmut hin und damit auf unvollkommen arbeitende Biozönosen. Das wieder ist die Ursache von Versäuerung, Alkalisierung oder auch des Auftretens von Reduktionszonen. Man kann aber stets aus wiederholten Untersuchungen und einem Vergleich dieser Zahlen ersehen, ob sich ein Boden auf dem Wege der Selbstreinigung oder der Verschlechterung befindet.

Die Herstellung

Die Stadtverwaltungen dürfen in der Humusproduktion nicht nur ein Wegräumen der Müllberge sehen, sondern das wertvolle Endprodukt, den Humus.

Die Humusproduktion aus Müll und sonstigen Abfällen verlangt:

1. Optimalen Abbau der Rohstoffe.
2. Optimalen Aufbau zu Humus.
3. Optimalen Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand.

Der Abbauprozess an der zu humifizierenden Substanz geht dem Humusaufbau zeitlich voraus.

Nur im Falle großer Katastrophen hat die Natur solche Berge von Abfall umzuwandeln, wie sie in den Städten als Müll anfallen.

Diese grundlegenden Tatsachen gelten überall.

Rohbeete legt man am besten in Gestalt einer Pyramide an. Bei 2 m Grundbreite und — wenn möglich — 2 m Höhe kappt man die oberste Spitze bei 20 cm Breite. Das kommt den Lebensgewohnheiten der arbeitenden Organismen entgegen. Die sauerstoffbedürftigen Mikroben siedeln sich ganz von selber in den äußeren Schichten an, die anaeroben ziehen sich ins Innere zurück. So stören sie sich nicht und den besonderen Gas- und Lichtansprüchen wird Rechnung getragen. Daher eignet sich der fein zermahlene Müll nicht zur Humifizierung. Das Ausgangsmaterial muß mindestens teilweise von grober Struktur sein, so daß es nicht zu starker Verfestigung des Rohbeetes kommt, die den Luftzutritt unmöglich macht. Auch hinreichende Feuchtigkeit ist notwendig. Es ist auch wichtig, von Anfang an ein Gleichgewicht zwischen Aeroben und Anaeroben anzustreben, damit der Verrottungs- und Humifizierungsprozeß gleichmäßig und rasch verläuft.

Unverläßlich ist, daß die Rohstoffe beim Aufsetzen sorgfältig gemischt werden. Je gleichmäßiger gemischt wird, um so besser ist das Resultat. Bei größeren Mengen ein- und desselben Rohstoffes würden sich die darauf spezialisierten Abbauer auf diesem einen Platz konzentrieren. Sie sind dort während einer bestimmten Abbauphase stets auch mit ihrer zugehörigen Begleitflora tätig. Jede derartige Biozönose arbeitet nach ihren eigenen Bedürfnissen und Methoden. So könnten sich ungleichartige Fäulnisinseln bilden, die nicht gleichzeitig ihren Abbau beenden. Setzt nun der Prozeß des Humusaufbaues ein, so können die Aufbauorganismen diese restlichen Fäulnisherde nicht besiedeln und es leidet die Qualität des Humus, wie auch der zeitliche Ablauf der gesamten Humifizierung wesentlich verlangsamt wird.

Der Abbau zielt auf ein gleichartiges Substrat, in dem Fäulnis und Verwesungsprozeß ganz abgelaufen sind. Um dessen sicher zu sein, wird das aufgesetzte Rohbeet während seiner Reifung zweimal umgesetzt.

Ob das Umsetzen durch Handarbeit oder mit mechanischen Vorrichtungen geschieht, ist eine Frage der wirtschaftlichen Organisation. Es gibt Länder, in denen sich auch heute noch die Handarbeit billiger stellt als die Maschine. In Europa oder in USA arbeitet man mit Geräten in Kombination mit Traktoren, z. B. mit Kleinbaggern, die mit Luftdruck auf- und umsetzen und den fertigen Humus abräumen.

Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, daß als Zeitpunkt für das zweimalige Umsetzen keine beliebigen Termine gewählt werden können. Das erstmalig wird nach der ersten Hälfte der Verrottungsperiode umgesetzt. Das entspricht im gemäßigten Klima einer Zeit von durchschnittlich 4 Wochen, im subtropischen Klima 3 Wochen, in nördlichen Zonen etwa 6 Wochen, in äquatorialen Gebieten mit tropischen Regenfällen und hoher Luftfeuchtigkeit

von nur 14—16 Tagen. Allerdings ist immer vorausgesetzt, daß die zu humifizierenden Abfallstoffe wirklich gut gemischt wurden und stets aus demselben Stadtmüll mit Markt- und Hausabfällen, Haus- und Straßenkehrricht, Schlachthof- und ähnlichen Rückständen bestehen und Kanal-, Teich- oder Industrieabwässerschlamme mit enthalten.

Für die Humusgewinnungsanlage wählt man möglichst einen Platz, der in der Nähe eines größeren Kanallaufes liegt, dessen Wasser man während der Verrottungsperiode zum Gießen der Rohbeete heranzieht. Fleißiges Gießen ist notwendig, da die abbauenden und aufbauenden Organismen zu ihrer Vermehrung hoher Feuchtigkeit bedürfen. Vertrocknung des Rohbeetes hat Stillstand der Zersetzung zur Folge, denn die Mikroben enzystieren sich dann, wodurch ihre Lebensfunktionen lahmgelegt werden. Ein Enzystieren aber würde Stillstand des ganzen Humifizierungsprozesses zur Folge haben.

Große Betriebe besitzen mechanisierte Arbeitsorganisationen. Bei Kleinbetrieben ist insbesondere dafür zu sorgen, daß die Rohbeete sorgfältig und gleichmäßig aufgesetzt werden.

Vorteilhaft ist es, die Inhalte von Senkgruben (Fossa septica) mitzuverarbeiten. Sie sind für den späteren Humus sehr wertvoll auf Grund ihres Gehaltes an Stickstoff-, Schwefel- und Phosphorverbindungen. Der Inhalt von Senkgruben soll aber nur im Naturzustand und nicht gechlort regelmäßig verwendet werden.

In diesem Falle mischt man zwei Drittel Garten-, Markt- oder sonstige pflanzliche Abfälle mit einem halben Drittel Straßen-, Haus- oder sonstigen Kehrricht oder Bauschutt, und einem halben Drittel Senkgrubenhalt, der am besten gleich mit Wasser verdünnt wird.

Zum Verdünnen sowie zum weiteren Gießen während der Verrottungs- und Abbauphase können Jauche und Abwässer [mit Ausnahme chemisch verunreinigter Industrieabwässer] verwendet werden. Unter allen Umständen muß das Rohbeet stets gut durchfeuchtet sein und darf keine trockene Decke aufweisen.

Eine Bedeckung mit Erde, Sand, Lehm, Stroh usw., wie sie bei Kompostierungen verschiedentlich empfohlen oder vorgeschrieben wird, ist unnötig, ja schädlich, denn sie verlangsamt den ganzen Ablauf, vor allem den des Humusaufbaues. Sobald die Haufen aufgesetzt sind, verschwindet auch der üble Geruch. Mit dem Müll kommen massenhaft Käse-, Kot- und Dungfliegen auf den Abladeplatz. Sie sind gute Mitarbeiter bei der Verrottung, vor allem ihre Larven, die jede Art von plasmatischen Rückständen vertilgen. Sie sind unzertrennlich von den Misthaufen und Rohbeeten, kümmern sich weder um Mensch noch Tier und stechen auch nicht. Die fleißigen Larven verpuppen sich zu braunen Tönnchen, die aber meist von räuberischen Käfern gefressen werden. Die Fliegenlarven sind auch gefährdet durch Tausendfüßler, Asseln, kleine Raubkäfer und größere Milben. Von ihnen wimmelt es im Rohbeet. Dazu kommen Würmer, Schnecken, Ohrwürmer, Spinnen und kleine

Urinsekten (Collembolen und Tysanuren). Alle Arten speichern Eiweiß, das nach ihrem Tod direkt oder auf Umwegen wieder ihrem Lebensraum zugute kommt. Dadurch wird der Humus verbessert und organisch angereichert.

Um einen raschen Ausgleich der für die einzelnen Rohstoffe charakteristischen Zersetzer zu ermöglichen, ist es oft empfehlenswert, soweit wie möglich die Rohstoffe zu gleichen Teilen zu mischen.

Die Verrottung ist beendet, wenn die aus dem Rohbeet heraushängenden Halme, Papier- oder Stoffetzen vermorscht sind. Sie brechen oder zerfasern bei der Berührung. Im Rohbeet haben sich schwarze Klumpen von erdiger Beschaffenheit und leichtem Erdgeruch gebildet. Dieser weist darauf hin, daß der Bodenzwergpilz *Actinomyces*, der in verschiedenen Varianten humusreiche Böden bewohnt und deren charakteristischen Veilchengeruch erzeugt, sich anzusiedeln beginnt. Es dürfen jetzt keine Fäulnisnester mehr vorhanden sein und keine roten Dungwürmer (*Eisenia*) mehr auftreten. Nach der Beendigung des Abbauprozesses muß auch das ungeübte Auge erkennen können, daß der Humifizierungsprozeß in eine neue Phase eingetreten ist. Die für den Abbauprozess insbesondere bei zellulosereichem Material charakteristische erste Erhitzung bis zu 75° macht nun einer gleichmäßigen Temperatur von 12—15° C Platz. Sie bleibt bis zum Ende der Umwandlung praktisch konstant. Auch der fertige Humus zeigt noch eine gewisse Eigenwärme. Diese Wärmetönung verhindert im Winter ein Ausfrieren des Beetes. Die Temperatur im Innern des Rohbeetes liegt weit über der des gefrorenen Bodens. Man kann zu jeder Jahreszeit, auch im Winter, Rohbeete aufsetzen. Nur dauert der Prozeß länger, sowohl wegen der Temperatur als auch wegen der mangelnden Feuchtigkeit und des verringerten Lichtes.

Auf ein fertig aufgesetztes, in Umwandlung befindliches Rohbeet dürfen keine weiteren zur Zersetzung bestimmte Abfälle mehr geworfen werden. Diese soll man auf einem Platz in der Nähe ansammeln, bis sie für ein neues Rohbeet ausreichen. Nach Möglichkeit sollen sie nicht der Wind- und Sonneneinwirkung ausgesetzt sein. Sie dürfen auch nicht in Gruben aufbewahrt werden, wo sie einem unkontrollierbaren Abbauprozess unterworfen sind, der zu großen Substanzverlusten führen kann.

Wenn das Rohbeet zum zweiten Mal umgesetzt wird, ist die Zersetzung im großen und ganzen abgeschlossen. Die Abfälle haben sich in eine homogene, überwiegend organische Masse umgewandelt, die aber noch kein Humus ist. Sie kann nun besiedelt werden von den aufbauenden edaphischen Mikroorganismen, Protozoen und Kleintieren, die daraus den eigentlichen Humus bilden.

Unter natürlichen Verhältnissen vollzieht sich diese Besiedelung mit Aufbauern sehr langsam. Sie wandern zu aus den benachbarten Bodenzonen, werden angeschwemmt vom Wasser, zugeweht vom Wind und durch Regen aus der Luft mit herabgerissen. Die auf diese Weise zusammengekommenen Mikroorganismen ergeben aber nur in den seltensten Fällen ein optimales

Edaphon. Bei der allgemeinen Bodenverarmung fehlen ohnehin in den Böden ganze Gruppen von Organismen, die also überhaupt nicht in das Rohbeet gelangen können.

Aus diesem Grund ist es notwendig, das Rohbeet zu „impfen“ mit einem Edaphon, das möglichst vollzählig die ihm zugehörigen Organismengruppen in enzystierter Form enthält. Sie müssen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Dieser „Impfstoff“ ist also eine natürliche Biozönose der im guten Boden vorhandenen Aufbauorganismen, die in der verarmten Erde fehlen. Ich habe ihn „Edaphon“ benannt. Eine spezielle Form davon heißt „Petrofil“.

Das „Edaphon“ ist auch bestimmt für Böden, die zwar genügend organische Substanz besitzen, aber in ihrer Mikroflora gestört und verarmt sind. Bei degenerierten, in ihrer Struktur zerstörten Böden muß die organische Substanz vermehrt werden mit Hilfe von Organismen, die imstande sind, das mineralische Übermaß umzusetzen. Diese Organismen, die Lithobionten, sind im „Petrofil“ enthalten.

Nach jahrelanger großtechnischer Erprobung und Anwendung in Mexiko stehen nun die beiden „Impfstoffe“ auch dem europäischen Landwirt und Gärtner zur Verfügung.

Beide sehen für das unbewaffnete Auge ähnlich aus. Grundsätzlich sind sie nach gleichem Prinzip hergestellt. Als Trockenprodukt ist der „Impfstoff“ viele Jahre lang unverändert haltbar. Er muß trocken aufbewahrt werden, damit die Geobionten in der Ruheform (Enzystierung) verbleiben.

Dieser Zustand, der dem Scheintod verglichen werden kann, gehört in den normalen Lebenszyklus der Mikroorganismen und setzt dann ein, wenn die Lebensbedingungen ungünstig werden, vor allem wenn Wassermangel eintritt. Sie können jahrzehntelang in diesem Scheintod ausharren und sind dabei gegen Temperaturextreme unempfindlich, brauchen kein Wasser und sind gegenüber verdünnten Säuren resistent. Diese Flora stellt etwa den dritten Teil der „festen“ Verunreinigungen der Luft. Die in der Impfmasse enthaltenen Mikroorganismen werden der Natur entnommen und im Laboratorium zu Biozönosen zusammengewöhnt. Sie sind frei von pathogenen Keimen und ausnahmslos oligosaprob. Sie sind abgestimmt auf ein pH-Optimum von 7—7,5. Ihre Auswahl und Züchtung und die Überwachung ihrer Enzystierung verlangt spezielle biologische Kenntnisse.

Die Anwendung von „Edaphon“ und „Petrofil“ ist denkbar einfach. Die Biozönose, die bei der Herstellung der Impfmasse zur Enzystierung kam, muß wieder in ihren natürlichen Lebenszustand zurückgeführt werden, d. h. man muß ihr wieder Wasser zur Verfügung stellen. Deshalb ist die Impfmasse, bevor sie dem Rohbeet zugesetzt wird, in Wasser einzuweichen. Die enzystierten Mikroorganismen erwachen nun wieder zu ihrer Lebensaktivität. Zunächst ist in der Flüssigkeit mit bloßem Auge keine Veränderung wahrzunehmen. Bald aber zeigt sich von der Impfmasse ausgehend ein

blaßgrüner Schimmer, der sich meist zu intensiver smaragdgrüner Färbung verstärkt. Der Edaphon-Impfstoff ruft eine Grünfärbung hervor, das Petrofil ergibt entsprechend seiner anderen Besiedelung eine dunkle, oft schwärzliche Färbung. Das mikroskopische Bild des Farbanfluges zeigt, daß sich die Mikroben bereits nach 24 Std. teilen und vermehren. Nach einigen Tagen enthält die impffertige Aufschwemmung weit über hundertmal so viele lebensfähige Organismen, als in der Impfmasse enzystiert waren.

Genauere Zahlen lassen sich schwer angeben, weil die Vermehrung von der Jahreszeit, von der Lichtintensität und der Entwicklungsdauer der einzelnen Organismen abhängig ist.

Mit der durchgeschüttelten Impfflüssigkeit wird das Rohbeet nun gleichmäßig begossen. Die auf diese Weise zugesetzten Organismen brauchen eine bestimmte Zeit, bis sie sich in der Verrottungsmasse an das neue Milieu angepaßt haben und sich vermehren. Nach vieljährigen Erfahrungen sind dazu unter günstigen Bedingungen etwa 14 Tage notwendig, bei sonnenlosem, kaltem Klima bis zu 4 Wochen. Durch öfteres Begießen mit Frischwasser ist für die notwendige Feuchtigkeit zu sorgen.

Nach dieser Zeit ist an die Stelle der an Mikroben- und Kleinlebewesen armen Verrottungsmasse, schwarze klumpige Erde getreten, in der es von jenen Kleinlebewesen wimmelt, die stets die oberen Bodenschichten bewohnen. Die Abfallzersetzer sind verschwunden. Zwar ist noch die eine oder andere schwarze Silphide vorhanden, die sich nun aber in ihrer Ernährungsweise den neuen Verhältnissen anpaßt und Pilzhyphen verzehrt. In den lichtärmeren Schichten finden sich die Larven von Holzbohrern und erdfressenden Käfern, häufig in Gesellschaft von Larven der Erdeulen, die sich der letzten Reste übriggebliebener Zellulosen bemächtigen. Ameisen durchstöbern alle Krümel. Sie bauen ihre Nester außerhalb des Rohbeetes, das sie nur als willkommenes und stets ergiebiges Jagdgebiet benützen. Dafür hausen die Ohrwürmer, die mitunter eine recht ansehnliche Länge erreichen können, mehr oder weniger friedlich zwischen den neugebildeten Erdschollen. Beim Aufbrechen des immer stark zusammengesinterten fertigen Rohbeetes stößt man auf ganze Nester von Regenwürmern.

Das Mikroskop zeigt eine noch unvergleichlich größere und schönere Lebewelt. Der aus dem Rohbeet durch Impfung mit „Edaphon“ gewonnene Humus soll in 1 g Masse an die 300 Millionen Geobionten enthalten. Das verlangt man auch von gutem Naturhumus. Kieselalgen, Protozoen und Nematoderi bewegen sich in den feinen, mit Feuchtigkeit erfüllten Kapillaren zwischen den Humus- und Detritusflocken wie in Wasserstraßen. Die assimilierenden Algen breiten sich in den Bodenzonen aus, in die noch das Tageslicht eindringt.

Man nimmt an, daß die Bodenlebewelt in der Lage ist, die ultraviolette Strahlung, die tiefer in den Boden vorzustoßen vermag als das Sonnenlicht, für sich auszunützen. So vermögen blaugrüne Algen noch in einer Tiefe bis

zu 1 m zu assimilieren, allerdings nicht mit Chlorophyll, sondern mit Hilfe von Phycophaein, Phycocyan und Phycoerythrin. R. H. Francé hat an 180 untersuchten Erdproben, aus verschiedenen Bodentiefen stammend, festgestellt, daß die oberste Bodenschicht bis zu 2 cm Tiefe 43 Arten von Geobionten enthielt. In einer Schichttiefe von 2—20 cm fand er 35 Arten und in der Schicht zwischen 20—30 cm Tiefe 13. So ist die Durchsetzung des Humus mit Mikrolebewesen je nach Licht- und Luftbedürfnis der edaphischen Gruppen „stockwerkweise“ gegliedert. Die oberste Bodenzone wird von den sogenannten „Gareorganismen“ bewohnt, eine oligosaprobe Biozönose, die fast ausschließlich aus assimilierenden Bodenalgeln besteht. Darunter finden sich blaugrüne Algen, Grünalgen, Kieselalgen und Protokokken. Auch trifft man beschälte Amöben, Räder- und Bärtierchen, zierliche Flagellaten und flohartig hüpfende Ciliaten sowie oligosaprobe Nematoden an. Pilzmycelien, Bakterienkolonien und Amöben durchsetzen das ganze Erdreich. Die autochthone Mikroflora stellt sich mit ihrem ganzen Formenreichtum ein. Sie erscheint als Bindeglied im Kreislauf des Organischen. Seit Anwendung der Struggerschen Methode weiß man, daß sie die gesamte Bodenmasse in einer solchen Menge erfüllt, daß sie als die lebende Grundsubstanz schlechthin angesehen werden muß.

Ober sie vollziehen sich die Umsetzung von Luftstickstoff, Kohlensäure sowie die aufbauenden Prozesse der Humusbildung.

Die im Impfstoff „Edaphon“ vorliegenden „Humusaufbauer“ bewirken:

Kolloid- und reichliche Zoogloeebildung,

Kohlensäureassimilation und Luftstickstoffbindung,

Durchlüftung des Bodens durch Sauerstoffproduktion, Krümelbildung und intensive Neubesiedelung.

Lockerung und Durchprägung der natürlichen Kapillarstruktur,

Optimale Vorbedingungen zur Wasserspeicherung,

Aufschließung von Bodenmineralien und Bildung organischer Substanz, Nährstoffzufuhr und Wirkstoffaustausch zwischen Zoogloeen und der Pflanzenwurzel, die in Symbiose mit den Zoogloeen lebt,

Herbeiführung eines harmonischen Verhältnisses zwischen organischer und anorganischer Substanz.

Der fertige Humus muß gelockert werden. An sich ist eine Lockerung schon durch das Abräumen des Rohbeetes gegeben. Empfehlenswert ist es aber, ihn durchzusieben. Eine Maschenweite des Siebes von ca. 3 mm entspricht am besten der natürlichen Krümelung. Eine engere Maschenweite ist deshalb unangebracht, weil sonst die Gefahr der Austrocknung zu groß ist. Während man mit dem Handsieben durchschnittlich an 66% fertigen Humus gewinnt, ergibt das mechanische Sieben annähernd 70—75%. Die Anschaffung eines Apparates mit Motorantrieb lohnt sich also für Großanlagen.

Humus ist vor rascher Austrocknung zu schützen. Er verträgt keine höhere Temperatur als ca. 25° C — 30° C. Vor allem ist eine rasche Austrocknung

schädlich, weil die empfindlicheren Organismen nicht Zeit haben, sich durch Enzystierung an die veränderten Umweltsbedingungen anzupassen.

Humus bedarf stets eines bestimmten Mindest-Feuchtigkeitsgehaltes.

Beim Austrocknen öffnen sich alle Poren und die wertvollen Bodengase Kohlendioxid und Luftstickstoff entweichen. Letzten Endes sind die „degradierten Böden“ deshalb so arm und unergiebig, weil sie infolge Humusmangels so gut wie keine Nährgase enthalten.

Aus versandtechnischen Gründen vorsichtig abgetrockneter Humus muß nach der Abfüllung in Säcke oder nach der Einlagerung wieder angefeuchtet werden. Versäuerungsgefahr besteht dabei nicht, ebensowenig die eines Denitrifizierungsprozesses, wie er in schlecht durchlüfteten Blumentöpfen oft auftritt. Die humusaufbauenden Organismen, die durch den Impfstoff hinzugefügt wurden, verhindern dies durch ihre ständige Sauerstoffproduktion.

Es wäre aber unangebracht, beim Kauf von Qualitätshumus dessen Wassergehalt als unwirtschaftlichen Ballast zu betrachten. Das in den Kapillaren festgehaltene Wasser enthält Nähr- und Wirkstoffe und ist angereichert mit bodenverbessernden Mikroben. Der natürliche Wassergehalt des Humus ist bedingt durch seine Kolloidnatur. Die Kolloidizität hängt aber ausschließlich von der organischen Besiedelung ab, sei es, daß bei Naturhumus diese sich im Laufe der Zeit selbst einreguliert hat, sei es, daß sie durch Impfung einer Rohbeetanlage mit „Edaphon“ eingebracht wurde.

Aus Abfällen der Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie

Die Rückstände aus Pflanzungen, Gärten, Plantagen, Farmen und Ranchos, der Stallmist, kurzum die Abfälle der gesamten Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie sind Rohstoffe, die bestimmt sind, im natürlichen Kreislauf wieder zu fruchtbarer Erde zu werden.

Leider ging auf Grund der bisherigen Wirtschaftsmethoden ein wesentlicher Teil dieser umfangreichen humifizierungsfähigen Abfälle dem Boden und damit der Humusbilanz endgültig verloren.

Der Hauptbestandteil der erwähnten Rückstände besteht aus Zellulose, ein sehr ausgiebiges Ausgangsmaterial für Humus. In erster Linie ist dabei Stroh zu nennen.

Im viehlosen Betrieb besteht für Stroh kaum eine Verwendung. Man zündet es daher vielfach auf dem Acker an. Ich habe mehr als einmal das Flammenmeer solcher abgebrannter Felder gesehen. Die Besitzer hatten wohl keine Ahnung davon, daß durch das Abbrennen das Bodenleben, die Bodenstruktur, die Wasserführung zerstört werden, daß Keimung, Wachstum und die ganze nächste Ernte darunter leiden und daß es lange dauert, bis diese Schädigung des Bodens wieder ausgeglichen ist. Auch wenn man sich nicht immer in diesem Maße an der fruchtbaren Erde versündigt, so war man doch

stets zu wenig bemüht, die Rückstände aus der landwirtschaftlichen Produktion humifiziert wieder dem Boden zurückzugeben.

99% aller Restzellulosen werden heute noch ihrer eigentlichen Bestimmung, die Ausfälle an Fruchtbarkeit zu ersetzen, entzogen. Dazu trägt natürlich auch die schwere Aufschließbarkeit dieser Materie bei.

Als ich zu Anfang des Jahres 1953 mein erstes Labor in Mexiko einrichtete, sah ich mich vor die Aufgabe gestellt, einen Weg aufzuzeigen, das in Mexiko, wie überhaupt in den lateinamerikanischen Ländern anfallende Stroh und andere Restzellulosen der tropischen Wirtschaft — ein riesiges Zellulosekapital, das alljährlich dem Boden verlorengeht — in Humus umzuwandeln zur Verbesserung der ausgeplünderten und ausgewaschenen Böden.

Ein schwieriges Problem ist dabei die Transportfrage. Auch in der Ära des Traktors kostet das Wegräumen oder Heranschaffen platzraubender, meist recht ungefügiger Massen Zeit und Geld. Die Getreidefelder und landwirtschaftlichen Nutzflächen der Betriebe sind ausgedehnter als in Europa. Randlos, die großen Plantagengesellschaften gehören, umfassen mitunter bis zu 18 000 und mehr Hektar. Aber auch die durchschnittlichen Größen liegen selten unter ein paar hundert Hektar. Es sind also kilometerlange Transportwege — die nicht immer gut befahrbar sind — in Rechnung zu setzen, und jeder überflüssige Transport muß vermieden werden. Die Aufbereitung von Stroh zu Humus muß also möglichst an Ort und Stelle, wo die Abfälle liegen geblieben sind, durchgeführt werden, oder doch zumindest in aller-nächster Nähe. Das letztere kommt für alle Baum- und Strauchplantagen in Frage, da sie nicht Raum genug bieten, zwischen den Gewächsen noch die Humifizierungsrohbeete anzulegen. Dagegen kann bei allen Kulturen, die felderweise im Vollbetrieb abgeerntet werden (z. B. auch Zuckerrohr und die meisten Faserpflanzen), ein mehr oder weniger ausgedehntes Randgebiet für Humifizierung vorgesehen werden. Wenn auch, wie dies bei Zuckerrohr der Fall ist, erst die Fabrik die eigentlichen Abfälle (Bagazo) liefert, so ist es angebracht, diese in der Nähe des Feldes zu humifizieren, um den fertigen Humus gleich bei der Hand zu haben. Jene Reste der Zuckerrübenverwertung in Europa, die nicht als Viehfutter in Betracht kommen, sind auf dieselbe Weise zu behandeln. Auch Kartoffelkraut, überständige Heumahd, Wurzelwerk, das im Boden viel zu langsam verrottet, der „Abraum“ von Tomaten-, Gemüse- und Sonnenblumenfeldern, ist zu Humus umzusetzen.

Grundforderung für alle Rohbeete auf freiem Feld ist, daß Wasser vorhanden sein muß. Zellulosen, ganz gleich welcher Herkunft, verrotten nur bei genügender Feuchtigkeit. Ihre Aufschließung vollzieht sich zum Teil über Vergärung, zum Teil auf dem Wege echter Fäulnis. Es ist gleichgültig, ob man es mit ligninhaltigen Abfällen, mit zucker-, gummi-, harz- oder saponinhaltigen Resten zu tun hat. Faser- und Schalen-, auch alle möglichen anderen Formen von zellulosereichen Geweberückständen machen keinen Unterschied. Das Hartnäckigste, das es wohl überhaupt gibt, sind reine Reisschalen, die,

da ja der Reis von echten Sumpfgäsern stammt, auch gegen Säuren resistent sind. Zudem sind sie derart mit Silikaten durchsetzt, daß sie sich geradezu ähnlich wie Glaspartikelchen verhalten. Auch die Spelzen von Hartreis, der bekanntlich nicht im Wasser, sondern von Anfang an auf trockenem Boden wächst, sind stark siliziert. Es ist daher gut, nicht ausschließlich Reisschalen als „Bancal“ aufzusetzen, sondern sie mit Stallmist, faulenden Graswurzeln usw. zu vermischen. Dasselbe gilt für die messerscharf mit Kieselzellen inkrustierten Blätter der *Baomyuccas*, der meisten Palmen, für die den Manilahanf liefernde Faserbanane (*Musa textilis*) und überhaupt alle mit Stützfibern ausgerüsteten, von Kieselsäureablagerungen durchsetzten Gewächse.

Das unterschiedliche Rohmaterial erfordert zwar im großen und ganzen keine prinzipiell verschiedenen Behandlungsweisen, wohl aber braucht es mehr oder weniger lange Zeit zur Aufschließung. Als Mindestzeit muß man, abgesehen von der „Cachaza“, die nur 2—2 1/2 Monate benötigt, immer mit 3 Monaten rechnen. In 3 Monaten ergibt ungemischte Cafepulpa (Haut und Fleisch der zerquetschten Kaffeekirsche) einen erstklassigen Humus. Auf vielen Kaffeepflanzungen wird Humus alljährlich in ansehnlichen Mengen bereitgestellt. Er wird vor allem für die Saat- und Frühbeete des Kaffees verwendet.

Die Böden schon 60 oder 100 Jahre bebauter alter Kaffeefincas sind durchwegs ausgelaugt und erschöpft. Die vielen Pilzkrankheiten, zu denen Kaffee neigt, sind gewissermaßen bodenbedingte Mangelkrankheiten, die durch systematischen Humusnachschub behoben werden könnten. Anstatt sie zu humifizieren, wurden die gewaltigen Pulpamassen bisher in die Flüsse geworfen. Das hatte zur Folge, daß sie monatelang den Wasserlauf verpesteten. Oder aber man ließ sie als gärende und stinkende Haufen liegen und versuchte, die Masse so als Dünger zu benutzen.

Aber nach 1—2 Jahren wurde der Boden dadurch versäuert — Kaffee verträgt weder ein saueres noch alkalisches Boden-pH und antwortet auf saure Bodenstellung mit einer Zunahme der Pilzkrankheiten. Hauptsächlich treten *Cladosporien* und *Fusarien* auf. Auch andere Infektionen, sowie Wurzelfäule u. dgl. werden mit der faulenden Pulpa eingeschleppt.

Wir führten Versuche durch mit Zuckerrohr- und Kaffeerückständen, Henequenbagazo, Überresten von Magueypflanzen, mit Maiskolbenrückständen, mit Stroh, mit den Destillationsrückständen eines auf Zitronenöl ausgebeuteten aromatischen Grases, das „Té de limon“ heißt. Wir humifizierten die gleich schwimmenden Inseln alle Gewässer verstopfenden Massen von „*Liria aquatica*“ (*Eichhornia crassipes*). Man brachte uns die Rückstände von Nescafé, von Sägemehl, von alter Gerberlohe, die in Mexiko aus dem tanninreichen, steinharten und fast unzerstörbaren Holz des Mezquitebaumes (einer Wüstenleguminose) gewonnen wird. Wir verwandelten auch reinen Stallmist in Humus, da auf den ausgedehnten Viehranchos, die für die meisten lateiname-

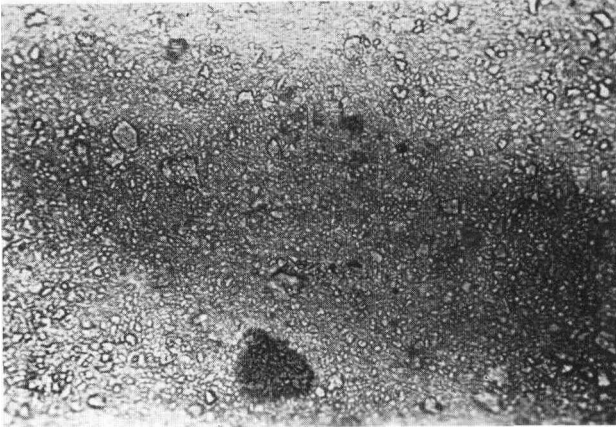
rikanischen Länder charakteristisch sind, „Estiercol“ in ungeheuren Mengen vorhanden ist, der zusammen mit Stalleinstreu aus Maisblättern Rohmaterial für Zellulosehumus bildet. Dieser Zellulosehumus wandert in fertigem Zustand auf die Felder mit Alfalfa und Futterweizen.

Im Gegensatz zu den Zonen des gemäßigten Klimas weidet das Vieh in mittel- und südamerikanischen Ländern mehr oder minder das ganze Jahr auf Pampa oder Prärie. Aber überall, wo die Tiere doch nachts in die Ställe getrieben werden, findet sich auch die Möglichkeit, ihren Mist zu sammeln.

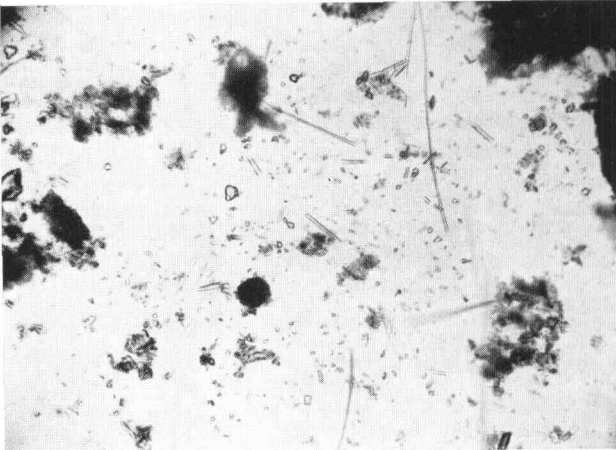
Ganz Mexiko, auch die „Tierra fria“ der Hochebene, hat die Trockenzeit im Winter. Infolgedessen hat die spätherbstliche und winterliche „Dauerdüngung“ der weidenden Tiere wenig Wert für den Boden. Es fehlt der Regen, um die Nährstoffe in den Boden zu schwemmen.

Die extreme Trockenheit und die winterlichen Staubstürme verwehen das meiste. Praktisch geht dadurch 80—90% der „Dauerdüngung“ der Erde verloren. Eine andere Folge der Trockenheit ist, daß der Pflanzenwuchs bis auf ein Minimum reduziert wird. Die hungrigen Rinder nagen buchstäblich die Halme millimeterweise ab und Schafe und Ziegen fressen regelmäßig die Wurzeln mit. Trotzdem sind sie mager zum Erbarmen und der Milchertrag ist dementsprechend gering. Dort, wo die Tiere außer der Weide noch gefüttert werden — was durchaus nicht überall der Fall ist —, erhalten sie oft nur das harte, trockene, durch Aufschichtung auf große Haufen ein bißchen angegorene Maisstroh, das schon allein deshalb einen langen Verdauungsprozeß fordert, weil die Halme hoch siliziert sind.

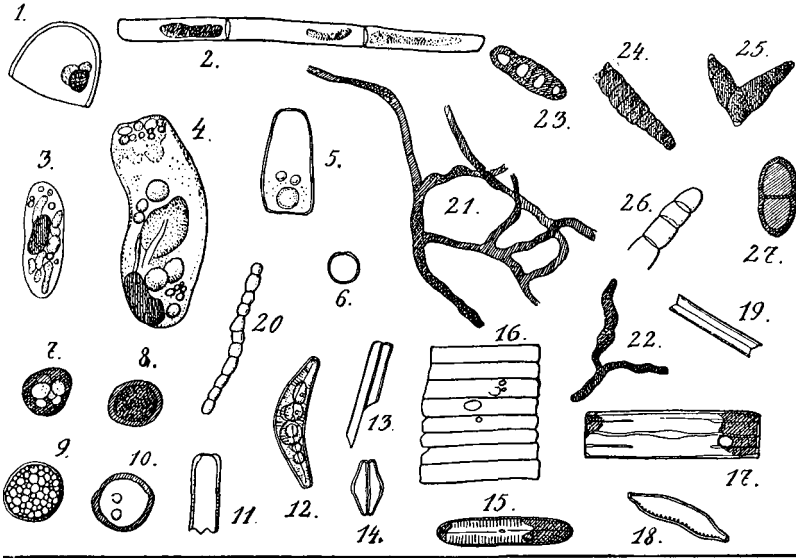
Verfügt ein Rancho über künstliche Bewässerung, dann freilich bekommen die Milchkühe auch Maiskörner, Futterkuchen aus Baumwollsaat, frische Alfalfa und Winterweizen, welche letzterer nur zu Futterzwecken gebaut wird. An vielen Orten zermahlt man auch die leeren Maiskolben, hier „Elo-tes“ genannt, in einer primitiven Mühle. Sie werden von den nicht verwöhnten Tieren gerne angenommen. Dort, wo Maguey (*Agava americana*) zur Pulquegewinnung auf großen Territorien gepflanzt wird, füttert man zusätzlich auch mit den dünn geschnittenen Blättern. Freilich erst dann, wenn der „Agua miel“, der durch Herausschneiden des Herzens des Blütriebtes oder dessen Aussaugung ausfließt, schon völlig entfernt ist. Die Qualität dieser harten, schlecht aufschließbaren Stengel und Blätter wirkt sich natürlich auch auf die Ausscheidungen der Tiere aus. Der Mist ist reich an Silikaten, die ja nicht verdaut werden können und trocknet enorm rasch aus. Im Mikroskop verrät sich die Eintönigkeit dieses Futters, das an die Verdauungsorgane dieser so überaus bescheidenen Tiere sehr große Anforderungen stellt, durch einen Überfluß von unaufgeschlossenen Spiralfasern, welche die ganze Masse durchsetzen, denn wie bei den meisten der annähernd 300 verschiedenen Agavenarten besteht auch bei der Maguey das bis zu 2 m lange Blatt in der Hauptsache aus Fasern. Durch ihre Struktur ist diese Faser weitgehend vor der Aufschließung geschützt und nur eine sachgemäß durchge-



Typische „Betonstruktur“ bei übermineralischen, humusarmen Böden. Schlechte Lüftung, wenig Licht. Verklebung durch ein Übermaß anorganischer Kolloide. Für die Pflanzenwurzel ist nicht genügend Lebensraum vorhanden.



EDAPHON-Humus mit der charakteristischen Zoogloea-Struktur, die Luft und Licht einläßt und den Wurzeln Lebensraum gibt. Großer Reichtum an edaphischen Organismen.



Organismen aus dem Magen und Darm des Regenwurms in verschiedener Erhaltung.
 (Nach der Natur gezeichnet)
 ca. 350fach vergrößert.
 1-3 = Algenreste
 1 = Cosmarium - Hälfte
 2 = Fadenalge
 3 = Mesotaenium (?)
 4-6 = Tierische Organismen
 4 = Mehrzelliger tier. Organismus?

5 = *Trinema acinus* (Rhizopoda)
 6 = *Geococcus* vulg. Gehäuse
 7-10 = Cystenbildungen (Protozoa)
 11-19 = Bacillariaceen
 12 = *Cymbella* sp.,
 11, 13, 19 = Kieselalgen, Bruchstücke
 14 = *Navicula* sp., Schale

15 = *Pinnularia* sp.
 16 = *Fragilaria* (?) } inh. anverdaut
 17 = *Tabellaria* }
 18 = *Hantzschia amphioxys*, Schale
 20-27 = Pilzmycelien u. Sporen
 20 = Schimmelmycel
 21-22 = *Cladosporium humifaciens*
 22 = etwas geschrumpft
 23-27 = Pilzsporen
 27 = Teleospore von *Puccinia*.

(Aus: „Untersuchungen über die Ernährung des Regenwurms“ von Rose von Aichberger)

fürhte Humifizierung wird mit ihr fertig. Die Rindermägen werden es aber nicht — und das wirkt sich bei einer derartigen Fütterung sehr wesentlich auf die Tiere und ihren Mist aus.

Die Faser aller Steppen- und Halbwüstenpflanzen ist kompliziert gebaut. Das Bündel feinsten, oft noch tordierter Fibern, welches das Zentrum bildet und den wirklichen Wert darstellt, ist aus reiner, sehr hochwertiger Zellulose. Es steckt aber in einer festen Röhre aus eng aneinandergeliebenen Spiralfasern, die eine regelrechte Panzerung darstellt und dem Ganzen Elastizität und Halt verleiht. Die Spiralen selber sind so eng zusammengeschlossen und mit Saponin, Wachs oder Gummi verkittet, daß diese Faserbündel gegen Salzwasser, selbst gegen Säuren unempfindlich sind. In jahrzehntealten Misthaufen stößt man immer noch intakte Fasern auf, die sogar noch ihre volle Reißfestigkeit besitzen. Ihre natürliche Verrottung beansprucht 3—10 Jahre.

Es war also unumgänglich notwendig, ein Hilfsmittel zu finden, mit dem man die langsame Naturverrottung abkürzt und verbessert. Es soll nicht nur bei allen Zellulosen, sondern auch bei Pentosanen, Ligninen, silizierten Fasern, Gummisäften, Harzen, ölen, Wachsen und Chitinen angreifen. Alle diese Stoffe verhindern den raschen Abbau von totem Pflanzengewebe. Deshalb dauert es so lange, bis Stroh, Laub, Sägemehl, Rindenstücke usw., wenn sie in die Erde vergraben werden, verrotten. In der Erde verläuft der Zersetzungsvorgang in erster Linie über Mikropilze und Zellulosefresser.

Aus diesen Erwägungen heraus entstand das „Saprofil“.

Es handelt sich dabei um eine Biozönose von abbauenden Organismen, insbesondere aktiven Zelluloseverrottern.

Was leistet Saprofil?

Mit Hilfe von Saprofil kann man die natürlichen Zersetzungsfristen bedeutend abkürzen und den Abbau so steuern, daß wirklich alle die sehr differenten Reststoffe zur Humifizierung gelangen.

Dauer des Abbaues von Zellulosen landwirtschaftlicher und industrieller Restprodukte bei Anwendung von Saprofil, im Vergleich zur natürlichen Verrottungsdauer und Humifizierungsdauer:

Cafepulpa

natürliche Humifizierung 2 Jahre

Humifizierung mit Saprofil 3 Monate

Stroh

natürliche Humifizierung 2—4 Jahre

Humifizierung mit Saprofil 4 Monate

Stallmist

natürliche Humifizierung 1—2 Jahre

Humifizierung mit Saprofil 4 Monate

Alte Gerberlohe

natürliche Humifizierung, nach 20 Jahren noch unverrottet
Humifizierung mit Saprofil 5 Monate

Sägespäne

nach 15 Jahren unaufgeschlossen
Humifizierung mit Saprofil 3—7 Monate

leere Maiskolben

natürliche Humifizierung 3—6 Jahre
Humifizierung mit Saprofil 5 Monate

Zuckerrohrrückstände, Schilf etc.

natürliche Humifizierung 1—2 Jahre
Humifizierung mit Saprofil 4-5 Monate

Fruchtrückstände

natürliche Humifizierung 10—12 Monate
Humifizierung mit Saprofil 2—4 Monate

Tabakrückstände u. ä.

natürliche Humifizierung 1 Jahr
Humifizierung mit Saprofil 2—3 Monate.

Die Beschleunigung der Verrottungsdauer durch Aufschließung mit Saprofil ist bedeutend. Mit Hilfe von Saprofil können selbst die am hartnäckigsten aufzuschließenden landwirtschaftlichen Rückstände wiederum für *die* Landwirtschaft nutzbar gemacht werden. Das auf diese Art gewonnene Aufschließungsprodukt ist Grundlage des „Zellulosehumus“, wie auch immer die Grundstoffe beschaffen sein mögen und besitzt einen pH-Wert von ca. 7. Das ist insofern von Bedeutung, als jede Zelluloseverrottung anfänglich in einem stark sauren Milieu, etwa bei pH 3-4, verläuft. So kann man „Zellulosehumus“ gerade für die Kultur sehr pH-empfindlicher Gewächse, einsetzen.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß nach dem Ergebnis unserer Versuche der „arteigene Humus“ eine Sonderstellung einzunehmen scheint in bezug auf besseres Wachstum und erhöhte Fruchtbarkeit der spezifischen Pflanzengattungen.

Eine derartige Wechselbeziehung erscheint logisch, denn der arteigene Humus bringt jene Stoffe, welche die Pflanze dem Boden entzogen hat, betonter als eine andere Humusart wieder in den Kreislauf zurück. Unsere positiven Ergebnisse und Erfolge bei Kaffeepflanzen, Zuckerrohr und Mais lassen es wünschenswert erscheinen, daß diese Erfahrungen von Seiten landwirtschaftlicher Institute nachgeprüft würden.

Sicher ist, daß aus Holz- und Verholzungsrückständen gewonnener Humus für Baumschulen besonders empfohlen werden kann.

Schon seit Jahrzehnten zeigt eine unserer bedeutsamsten Kulturpflanzen, die Kartoffel, eine erhöhte Anfälligkeit gegen Parasiten, die letzten Endes auf Mangelzustände, die mit dem Boden zusammenhängen, zurückzuführen sind. Davon kann man sich überzeugen, wenn man ihm Humus verabreicht. Frühkartoffeln kann man eher ernten, der Ertrag steigt im Durchschnitt auf das Doppelte. Bei reichlichem Humusangebot erweist sich die Pflanze als parasitenfest, sogar gegenüber dem Kartoffelkäfer, und die Lagerfähigkeit der Kartoffeln erscheint wesentlich günstiger.

Wie geht der Landwirt vor, wenn er alle landwirtschaftlichen Abfälle systematisch dazu verwenden will, seinen Humusbestand aufzubessern?

Im gemäßigten Klima, wo die Erde für Monate hindurch ruht, wird er die Ruhemonate dazu benützen, die Rückstände zu sammeln und Rohbeete anzulegen, die dann humifiziert sind, wenn die Frühjahrsbestellung beginnt. Unter der Schneedecke hat der Abbau-Prozeß Feuchtigkeit genug, und im allgemeinen genügen 4—5 Monate, um alle Restzellulosen zu verrotten. Der Arbeitsanfall beschränkt sich praktisch auf das Aufsetzen und ein einmaliges Umsetzen. Geimpft wird erst, wenn die Hauptkälte und Bodenfröste vorüber sind. Eine dünne Eisdecke schadet dem Rohbeet nicht. Innen bleibt es warm, auf Grund der Organistentätigkeit. Auch viele von den nützlichen kleinen Erdbewohnern, sogar die Regenwürmer, bleiben aktiv.

In den Subtropen und Tropen fällt der Winter häufig mit der Regenzeit zusammen. Deshalb braucht man das Rohbeet nicht zu begießen. Frost tritt in diesen Zonen nicht auf. Das Rohbeet ist im Durchschnitt nach 3, höchstens in 4 Monaten reif. Die Vegetationsperiode mit einzelnen lokalen Nachernten zieht sich meist bis in den Dezember hin. Man kann auch die Rohbeete bereits im November aufsetzen und hat dann bis zum März den fertigen Humus. Steht reichlich Wasser zur Verfügung, kann sogar während des häufig 3—5 Monate dauernden Trockensommers noch einmal Humus produziert werden. Dann kommen die Reste der Frühlingsernten noch im gleichen Jahre als Humus in den Boden.

In der südlichen neuen Welt ist der Winter eine Trockenzeit mit blauem Himmel, Staubstürmen und einer verdorrten Vegetation. Hier ist der Einsatz von sparsam arbeitenden Regenapparaten günstig oder auch eine nicht abschwemmende Kanalbewässerung, die meist für einen Turnus von Stunden oder Tagen eingestellt ist. Dadurch läßt sich bei ausgiebiger Humusversorgung ohne weiteres eine zweite Jahresernte erzielen. Davon wird noch zu sprechen sein.

Die in allen südlichen Ländern herrschende Erosion ist im Winter leider ebenso aktiv wie im Sommer mit seinen schweren Regenfällen. Es wäre also angebracht, für diese Zeit eine geschlossene Pflanzendecke zu schaffen, welche Abwehung und Aushagerung der Bodenoberfläche verhindert. Das läßt sich aber — außer in der relativ fruchtbaren „Tierra caliente“, die keine so ausge-

sprochene Trockenzeit hat — nur mit ständigem Humusnachschub durchführen. Überall in den Hochländern ist der Boden zu arm, um zwei Ernten hervorbringen zu können. Dazu kommt, daß der Mais, seit Jahrhunderten als Monokultur gebaut, einer der schlimmsten Bodenausplünderer ist. Kommen dann noch die Staubstürme dazu, die in kilometerhohen Wolken den hellen Mittag schwarzbraun verdunkeln, so bleibt von der Lebenszone der Bodenoberfläche so gut wie nichts übrig. Will man den Boden schützen, so darf man ihn nicht monatelang aufgepflügt, d. h. jedes kolloidalen Zusammenhanges beraubt, unter den ständigen, ausdörrenden Trockenwinden liegenlassen. Er muß durch Windriegel und vor allem durch eine Pflanzendecke vor Abwehung geschützt werden. Es gibt überall in der einheimischen Flora genügend kleine, rosettenbildende Leguminosen, die den Boden zu schützen vermögen. Man könnte sie sehr leicht heranziehen, um wintersüber eine Pflanzendecke zu schaffen.

Diese Möglichkeit ist für alle Kontinente gegeben. Jede Lokalfloora weist solche natürliche „Bodenschützer“ auf. Unempfindlich gegen Temperaturextreme, gegen Nässe und Dürre, klammern sie sich an den Boden an, den sie vor dem Verlust seines Mikrolebens bewahren. Ein Großteil der sogenannten „Ackerunkräuter“, die man bekämpft, bilden jene Pflanzendecke, die man wieder flach einackern kann. Sie liefern eine ausgezeichnete Gründüngung. Mäht man sie vor der Samenreife oder läßt man sie, wie das auch jetzt schon teilweise geschieht, bis dahin abweiden, so braucht man nicht zu befürchten, daß sie sich allzusehr vermehren.

Trockenwinter verursachen weitaus größere Erosionsschäden als die schweren Sommerregen, die man meist allein für die Auswaschung verantwortlich macht. In Gebieten mit ausgesprochenen Trockenwintern könnte man durch regelmäßige Humifizierung der Zelluloseabfälle eine zweite, eine Winterernte erzielen. Der Turnus der Bodenanreicherung ermöglicht es, daß mit Hilfe des Edaphons aus den vorherigen Ernterückständen die Bodenverbesserung für die nachfolgende Ernte geschaffen wird. Auf diese Weise erzielt der Landwirt eine laufende Bodenverbesserung. Der dabei entstehende finanzielle und arbeitsmäßige Aufwand ist durch den Erntezuwachs gerechtfertigt.

Soweit in jenen Gebieten, wo das Fehlen von Bodenfrösten eine zweite Ernte ermöglicht, eine solche angestrebt wird, ist zu berücksichtigen, daß xerophytische Pflanzen ausgewählt werden. Vor allem sind Leguminosen geeignet. Ebenso sind alle aus einstigen Steppengräsern herausgezüchteten Getreidesorten, z. B. Weizen und Gerste, trockenheitsliebend. Auch Kartoffeln lieben Trockenheit mehr als Nässe, weil die Knollen leicht faulen. Allerdings können sie als Winterfrucht nur dort gepflanzt werden, wo die Nachttemperatur nicht unter plus 5—8° sinkt, weil das saftige Kartoffelkraut leicht erfriert. Jedenfalls aber kann man — die entsprechende Bewässerung immer vorausgesetzt — in allen diesen Ländern die Gesamternte wesentlich erhöhen,

ohne daß sich die Böden dabei zu verschlechtern brauchen. Für Mexiko würde das heißen, daß fast der ganze Import an Mais und „Frijoles“ eingespart werden könnte und — was vom landwirtschaftlichen Standpunkt aus beinahe ebenso wichtig wäre — daß man anstelle der den Boden zugrunde richtenden Monokulturen eine Wechselwirtschaft einführen könnte.

Eine auf Humifizierung der landwirtschaftlichen Abfälle aufgebaute Doppelernte pro Jahr bedeutet, daß dadurch die Bodenerschöpfung wieder behoben werden kann und der Boden gegen Erosion auf eine natürliche Weise zu schützen ist. Gleichzeitig ist durch Humifizierung der landwirtschaftlichen Abfälle für jede kommende Ernte ein Humusvorrat bereit, der diese Ernte quantitativ zu vermehren und qualitativ zu verbessern vermag.

V. NEUER GESICHTSPUNKT DER LANDWIRTSCHAFT

Humuswirtschaft

Vom Standpunkt einer gesunden Humuswirtschaft aus ist anzustreben:

Erhaltung des Grundwassers,
Erhaltung der Bodenstruktur,
Erhaltung des Edaphons,
Erhaltung einer schützenden Pflanzendecke.

Dagegen ist zu vermeiden:

Zerstörung der natürlichen Bodenstruktur (Kapillarität),
bedenkenlose Ausbeutung der Grundwasserreserven,
Verseuchung des Bodens mit Faulstoffen aller Art,
Aushagerung durch offenes, schutzloses Liegenlassen der Böden,
übermäßige Beanspruchung durch Monokulturen,
falsche Anwendung von Düngemitteln.

Heute stellt die Landwirtschaft längst nicht mehr ein in sich geschlossenes, unabhängiges, niemandem verantwortliches Sondergebiet dar.

Sie ist als einer seiner wichtigsten und unentbehrlichsten Sektoren in den gesamten Staatshaushalt eingeordnet. Weltverkehr und Weltwirtschaft verknüpfen wiederum die Landwirtschaft der Staaten miteinander über politische Freundschaft und Feindschaft hinaus. Nicht einmal die letzten beiden Weltkriege konnten diese Fäden ganz zerschneiden. Was auch immer die Vertreter autonomer Planwirtschaft zu ihren Gunsten anführen mögen, eine Koordinierung überkontinentaler landwirtschaftlicher Produktion und Konsumierung ist heute unerlässlich.

Da die Voraussetzungen zu einer einheitlichen Weltwirtschaft (in Friedenszeiten) weitgehend gegeben sind, kann man anschließend an die Ordnung einer Reihe von Weltproblemen denken, die am besten auf internationaler Ebene in Angriff genommen werden sollten.

Vielleicht das vordringlichste davon ist die Schaffung einer allumfassenden Humuswirtschaft, durch die sich eine Reihe Fragen lösen lassen:

Erosion und Erosionsschutz, Wasserhaushalt, Holzwirtschaft, Weltversorgung mit Nahrung und natürlichen Rohstoffen, Erhaltung des Status quo der Bodenfruchtbarkeit, Wiederherstellung unfruchtbar gewordener Gebiete, Auflockerung der dichten menschlichen Besiedelung, Vorbeugung gegen Überschwemmungs- und Dürrekatastrophen, Krankheiten bei Mensch, Pflanze und Tier, die direkt oder indirekt aus dem Humusverfall und der Bodenschöpfung resultieren.

Betrachtet man so die Landwirtschaft, dann erscheint sie mit Recht als das wesentliche Fundament zur Erhaltung der Menschheit. Die Geschichte mit ihren Kriegen um fruchtbare Gebiete als Lebensraum für die Völker hat uns

unmißverständlich gezeigt, daß der Humus der Erde kein unerschöpflicher Schatz ist.

Die anorganische Düngung kann niemals allein, wie teilweise angenommen wird, einen Vollersatz für den durch Bebauung entstandenen Humusverlust bieten. Die Meinung, man könne den Boden als solchen übersehen und nur durch die Düngegaben zugunsten der Pflanze Dauerernten erzielen, ist ein Irrtum, wie auch die bisweilen noch vertretene Ansicht, daß die chemische Analyse allein genüge, um eine umfassende Kenntnis über die Qualität eines Bodens und seine Leistungsfähigkeit zu gewinnen.

Man muß sich auch darüber klar sein, daß innerhalb eines engeren Bezirkes die Ergebnisse des einen oder anderen Betriebes nicht verallgemeinert werden dürfen. Selbst die bestgemeinte Bodenbehandlung kann sich nicht optimal auswirken, wenn ein Nachbar, der „schnell Geld verdienen will“, einen wüsten Raubbau betreibt, um dadurch einige Jahre lang Maximalerträge aus seinem Land herauszuholen. Damit schädigt er den Wasserhaushalt und den Edaphonbestand in der näheren und fernerer Umgegend so empfindlich, daß alle seine Anrainer darunter zu leiden haben.

Die Gesetzmäßigkeiten der Bodenerhaltung gelten für alle Gebiete der Erde gleichermaßen. Sie wirken sich zwar unter den unterschiedlichen Klimata und je nach Art der einzelnen natürlichen Formationen verschieden aus, aber immer ist das Ziel eine lokale Humusbildung, die in arktischen Gegenden sogar noch über dem 500 m dicken Grundeis stattfindet.

Mehr und mehr häufen sich die Stimmen, die auf die weltweite Bedeutung des Humusproblems hinweisen. Eine global gesteuerte Humusbewirtschaftung im Sinne von Bodenschutzgesetzen erscheint als notwendig. Die Geschichte des Humus, vom Menschen her gesehen, begann sozusagen damals, als der Steinzeitmensch von seinem bescheidenen, nach unseren Begriffen sehr verwilderten Äckerchen die ersten paar Tontöpfe voll Einkorn, Mais oder Reis erntete. Es gibt zwar noch keine „Weltgeschichte des Humus“, es sei denn einige Kapitel daraus, aber ein „Humusproblem“, und im Laufe von Jahrtausenden haben sich in allen Kontinenten wertvolle Spezialkenntnisse angesammelt, die, miteinander verglichen, zu einer einheitlichen globalen Linie zusammengefaßt und berücksichtigt werden müßten.

Es wird Jahrzehnte dauern, bis alle wichtigen Erkenntnisse aus verschiedensten geographischen Zonen ausgewertet sind und alle Erfahrungen gemeinschaftlich nutzbar gemacht werden können.

Die Tatsache der optimalen Humusausnutzung, Humuserhaltung und des optimalen Humusersatzes hat geo-agronomisch als die Grundlage der Landwirtschaft überhaupt zu gelten. Wenn die erwähnten drei Punkte nicht beachtet werden, so bedeutet das eine Schädigung für die Landwirtschaft als Ganzheit. Je eher diese Fundamentalforderung gewürdigt wird, um so rascher wird auch eine Stabilität in der interkontinentalen landwirtschaftlichen Produktion erreicht werden.

Humuswirtschaft muß ein Sektor der Weltwirtschaft werden. Widerstände dagegen ergeben sich weniger durch die politischen Grenzen, als vielmehr aus der Vielzahl der voneinander abweichenden Formen des Landbaues in den einzelnen Ländern. Diese sind auch heute noch sehr divergent. Wir finden Grabstock, Holzpflug und Traktor, Sichel und Mähdröschler, Roden durch Buschbrand, Tiefpflügung und Fräse, Wühlarbeit und chemische Bodeninjektionen.

Nutzen und Nachteil der Mineraldüngung

Die Mineraldüngung beruht zum Teil auf der Auffassung, daß im Boden ein möglichst großes Depot von Nährsalzen angelegt werden müsse, aus dem die Pflanze hinreichend ihren Bedarf decken könne. Die Anwendung von Handelsdüngern fußt auf der Überzeugung, daß ein hohes Mineralangebot zu besseren Ernten führt.

In der Natur jedoch werden Kalkspate, Kalke, Apatite, Phosphorite, salpetersaure Salze usw. einzig nach Bedarf aufgeschlossen und dem Bodenleben zugänglich gemacht. Der Nachschub wird geregelt von den Bedürfnissen der Makroflora und der Mikrowelt des Edaphons. Beide werden aus derselben mineralischen Basis versorgt, wobei die Geobionten mehr oder weniger Selbstversorger sind und gleichzeitig auch die gewaltige Arbeit der Versorgung der Pflanzenwurzel übernommen haben. Die oberirdische Welt, Mensch und Tier sind schließlich wiederum Nutznießer dieser lithobiontischen Arbeitsleistung.

Das Tempo der mineralischen Aufschließung ist in der Natur durchaus instabil, da es ja strukturell und zeitlich von verschiedenen Bedarfsansprüchen abhängt.

Ein Mangel an den unentbehrlichen Mineralstoffen kann sehr verschiedene Ursachen haben. Diese erfordern verschiedene Maßnahmen zur Wiederherstellung des Bodengleichgewichtes. Auf keinen Fall kann ein Übermaß an Zufuhr von anorganischer Substanz jede dieser Ursachen wieder in Ordnung bringen. Der fruchtbare Boden ist ein so kompliziertes System, daß er Hilfen braucht, welche die Harmonie der Ganzheit und ihre Ordnungsgesetze berücksichtigen. Eine Störung kann man nicht beheben, wenn man an ihre Stelle eine neue Störung setzt.

Gewisse Fehler in der Behandlung der Böden mit Mineraldüngern lagen zunächst im Zeitbedingten und waren darum für Liebig und seine erste Schülergeneration nicht feststellbar. Man hatte noch nicht erkannt, daß die organische Substanz im Boden, ob man sie nun Dauerhumus oder wie immer nennt, ganz andere Aufgaben als die mineralische Komponente zu erfüllen hat, Funktionen, die eine Mineraldüngung nicht zu ersetzen vermag.

Um zu der zusammenfassenden Erkenntnis vorzudringen, daß ein fruchtbarer Boden in erster Linie reich an Humus zu sein hat, mangelte es seiner-

zeit noch an einer Reihe von wissenschaftlichen Spezialgebieten, insbesondere der Mikrobiologie und Biochemie.

So war das Humusproblem seinerzeit in die Bodenwissenschaft nicht mit einbezogen. Der dominierende Wissenschaftszweig war die Bodenchemie. Bis zur Zeit Liebig's — das darf man nicht vergessen — war das Wissen um den Boden in erster Linie praktische Erfahrung, von Vätern und Großvätern her überliefert, mit manchen Fehlurteilen und Vormeinungen behaftet. Man war auf Grund der Arbeiten Liebig's schließlich gewissermaßen stolz, endlich über den Wert des eigenen Bodens genau Bescheid zu wissen. Insofern war die diemische Bodenanalyse und die Formel „NPK“ eine wahre Erlösung.

Diese Formel ist, wenn auch verschiedentlich erweitert, im Grundsätzlichen bis heute geblieben. Gemäß der schon erwähnten Rockefeller-Formel „40 — 40 — 40“ gibt man auf einen ha Boden 40 kg Nitrogen, 40 kg Phosphat, 40 kg Kali. Es gibt Landwirte, die alle Jahre einmal und andere, die nach diesem Modus nur alle 3, 4, 5, 6 Jahre handeln. Gefühlsmäßig, oder auch mit Oberlegung, sagt sich der Landwirt, daß er auf diese Weise Stoffe in den Boden bringt, die der Stalldünger, von dem ohnedies nie genug da ist, eben nicht genügend enthält. Diese Ansicht hat sich nach beiläufig 150 Jahren als Selbstverständlichkeit durchgesetzt.

Die Frage der Auswirkung von Düngersalzgaben auf die organische Substanz wurde lange Zeit überhaupt nicht gestellt. Aber der ungeheure Einsatz an Handelsdüngern und die ständige Neubeschickung der Kulturböden mit Düngesalzen kann zu einer Einseitigkeit im Mineralhaushalt des Bodens führen und eine Disharmonie hervorrufen. Was kann man tun, um diesen Gefahrenmomenten vorzubeugen? Zu dieser Frage sei an ein Beispiel aus der Natur erinnert, an die „versalzene Böden“.

Der von Natur aus versalzene Boden hat beiläufig alle die Eigenschaften, wie sie ein durch zu viel Minerale Dünger geschädigter Boden annimmt. Sie alle zeigen dieselbe Struktur einer hoffnungslosen Verbackung. Beginnen aber solche Böden sich zu regenerieren, so geschieht dies immer durch dieselbe Gruppe der Bodenmikroorganismen.

Meine Erfahrungen mit versalzene Böden sind umfangreich: Ich kenne die gefürchteten ungarischen „Szikes“, ich kenne die Salzböden des einstigen Texcoco- und Chalcoesees, die zu der aztekischen Hauptstadt Tenochtitlan gehörten. Ich habe die Bitterseen sowohl in Ägypten als in Australien gesehen, außerdem die seltsame Welt der Schotts und Djerids mit ihren Salzkristallspiegeln, zu denen man in Südtunesien von der Sahara über die Hänge des Atlasgebirges hinaufsteigt. Schließlich bin ich auch an den Küsten von Südseeatollen gewandert, die eigentlich natürliche Lagunen sind. So habe ich also ein gewisses Recht, Vergleiche zu ziehen. Vergleichende Untersuchungen beweisen die erstaunliche Gleichförmigkeit der Biozönosen solcher über die ganze Erde verstreuter warmer Salzböden. Abgesehen vom Roten Meer mit

seinen berühmten Foraminiferensanden und jenen melanesischen Inseln, deren Ufer meterhoch von schwarzem Erbseneisenstein überschüttet sind, ist es fast überall das gleiche Bild.

Diese, auf ein hochalkalisches pH eingestellte Mikrobensoziologie hat eben allerorts dieselbe Zusammensetzung. Nur wo es sich um alten Meeresschlick handelt, stößt man zusätzlich noch mehr auf die, extreme Salzverhältnisse anzeigenden, Diatomeen.

Bei einem pH bis zu 9—11 ist die Biozönose in der Hauptsache aus Kieselalgen, Oscillatorien, einigen grünen Kokken und Mikrokokken, auch kokkenförmigen Bakterien zusammengesetzt. Kalkböden, die, wie das bei manchen Sedimentkalken der Fall ist, aus hoch versalzene warmen Flachseen durch verhältnismäßig rasches Eindampfen entstanden, enthalten meist noch kleine Rhizopoden aus der Trinemagruppe. Immer findet sich der Ubiquist *Geococcus vulgaris* Francéi, der auch gestachelte tropische Spezialformen aufweist. Außerordentlich zahlreich an Individuen wie an Arten ist die große Lebensgemeinschaft der „autochthonen Mikroflora“ vertreten. R. H. Francé nannte sie „Nannedaphon“. Mitunter stellt sie die Hälfte der Besiedelung. So enthält auch die fertig gemischte Kaolinmasse vor dem Brennen bis zu einem Drittel winzige Formen der autochthonen Mikroflora. Im Salzboden bestreiten Diatomeen, Cyanophyceen, Protococcen und grüne Algen zusammen die andere Hälfte. Es gibt auch ein paar alkalisch angepaßte Actinomyceten, die aber nicht häufig auftreten. Nackte Amöben, Flagellaten und Ciliaten fehlen fast gänzlich. Rotatorien sind selten (außer den beiden höchst sonderbar gestalteten *Brachionis plicatilis* und *Pedalia fennica*, bei deren Anwesenheit man auf versalzene Lagunen oder Wattenmeere schließen darf), noch sehener Nematoden. Es scheint, daß die Mitglieder der nackthäutigen Mikrowelt, die nicht durch dicke Gallerten geschützt sind, den scharfen Salzinfusionen aus dem Wege gehen, während die Halophilen samt und sonders mit einer ungewöhnlich dicken und widerstandsfähigen Kolloidhülle versehen sind.

Bei weitem überwiegt die Mikroflora gegenüber der Mikrofauna. Nur die größeren Angehörigen der letzteren Gruppe finden sich dann und wann in unvorstellbaren Massen: Salzkrebschen, Salzseefliegen, Salinenmücken mit ihren Larven. Sie vertragen wie die extremsten Halophyten bis zu 30% Versalzung. Das halobiontische Edaphon geht über 2% Salzgehalt nicht hinaus.

Auch auf den Natursalzböden werden einzelne Teilnehmergruppen manchmal gegen andere lokal ausgewechselt. Die allgemeine Funktion der gesamten Salzbiozönose ändert sich dadurch nicht. Für die Zukunft eines Salzbodens ist das Wasser der entscheidende Faktor. Seine Menge, ob es steht oder fließt, sogar das Tempo eines Abfließens ist von Bedeutung.

Im ersteren Fall lagert sich das Salz in die Ton- oder Lehm-Quellhorizonte ein, die das Wasser absperren. Erreicht die Austrocknung den Grund, so entstehen jene berüchtigten Salztonböden, denen man in keiner Weise auf me-

chanischem Weg beikommen kann, denn das hygroskopische Salz bindet viel mehr Wasser, als dem Boden bekömmlich ist. Drainieren hilft daher wenig oder gar nichts.

Diese nassen, kalten, kompakten Salztone oder Salzlehme setzen der Pflanzenwurzel einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegen. Die Pflanze kann die Salze nicht unbeschränkt in ihren Körper aufnehmen und sie wehrt sich dagegen, indem sie so wenig wie möglich von dem „vergifteten“ Wasser aufsaugt. Um nicht an dem schädlichen Salzmilieu zugrunde zu gehen, leidet das Gewächs sein Leben lang Durst. Darauf kann sich die Pflanze einrichten, wie dies die Wüstenpflanzen beweisen. Unter unseren Kulturpflanzen sind aber nur wenige zu einer solchen Anpassung imstande. So findet man zwischen den weiß ausblühenden Nestern von Natron- oder Kalksalzkristallen nur ein armseliges Pflanzenleben, das vom Weidevieh meist verschmäht wird. Nur die großen, hellgrünen Salicorniabüsche, die nirgends besser gedeihen, als um den Golf von California, werden von Rinderherden als Futter angenommen.

Soweit das dazu nötige Süßwasser vorhanden ist, werden derartige Böden mit ausgiebigen Irrigationen behandelt. Man versucht, möglichst von unten nach oben zu spülen. Die Auswaschung muß aber unter allen Umständen mehrmals wiederholt werden, was den Vorgang sehr verteuert. So hat auch das Auswaschen der gewonnenen Böden aus der Zuidersee ein recht ansehnliches Stück Geld gekostet.

Düngung nützt nicht viel, die vom Vieh zurückgelassenen Ausscheidungen bleiben meist vertrocknet liegen und werden vom Boden nicht aufgenommen. Salztrift ist eben Salztrift. Besser sind die Aussichten bei fließendem Wasser, oder wenn wenigstens kein Quellhorizont aus Salztönen den Grund bildet. Das Salz, das sich noch innerhalb der Wurzelzonen findet, wird allmählich ausgelaugt. Es wandert oft weit mit den Grundwasserströmen. Unterwegs kann es zu chemischen Umsetzungen mit Schwefel, mit Eisen, zuweilen auch mit Kalk oder Carbonaten kommen, je nachdem, was sich eben im Boden findet. Irgendwann wird es schließlich dem Meere zugeschwemmt. In den Gebirgen sickert oft „Salzwasser“ aus Felswänden. Das Wasser verdunstet und die Salze und mitgeschleppten Mineralien verkrusten dann das Gestein.

Da wie dort vollzieht sich aber die unsichtbare Arbeit des Lebens: Die halophytische Mikroflora, die den Lithobionten am nächsten steht, bewirkt durch ihre umsetzende Tätigkeit zuerst eine Umschichtung und dann eine langsame Lüftung der „salzdegradierten“ Böden. Die Auflockerung führt eine schwache, aber dauernde Verdunstung herbei, es entsteht etwas wie eine kapillarisch gesteuerte Verdunstung, die in diesem Fall von oben nach unten arbeitet. Die Oberfläche zerfällt zu unregelmäßigen, lange Zeit noch feuchten Krümeln.

Oft liegen aber in einer Tiefe von einem halben bis einem Meter noch Salztone von großer Hartnäckigkeit, während sich an der Luft bereits magere,

übermineralische Decken gebildet haben, die sogar schon einen armseligen, kurzhalbmigen Hafer, oder kleine, derbfleischige Rüben tragen können.

Von allen natürlichen Humifizierungsprozessen, die man kennt, ist dies der langsamste. Die Widerspenstigkeit der Salze übertrifft alles, was man damit Dergleichen könnte. Die Verklebung der Tonmizellen ist äußerst schwer anzugreifen. Es ist keine chemische, sondern ausschließlich eine biologische Frage, wie man mit Hilfe des „Salz-Edaphons“ mit solchen Böden fertig werden kann.

Nur das Salz-Edaphon mit seinen bestimmten Mikroorganismen veranlassen den Naturboden, seine Chloride, Bittersalze, Kali, Natrium, phosphorsaure Salze, Salpeter, d. h. den Salzüberschuß überhaupt, abzugeben. Professor KREYBIG, einer der besten Kenner der ungarischen Salzböden (die in der ungarischen Tiefebene unter Meeresniveau liegen) hat eine aufschlußreiche Gleichung aufgestellt: Wenn ein Feld durchschnittlich im Boden 20% Feuchtigkeit gebunden hat, und diese Feuchtigkeit mit nur 0,1% Salz angereichert ist, so muß man pro 1 ha mit 600 kg gelösten Bodensalzen rechnen. Fügt man die üblichen 400 kg kombinierten Mineraldünger pro 1 ha dazu, so steigt dadurch die Salzkonzentration mit einem Schlag um 66%! Kein Wunder, daß sich daraufhin überall, im Boden und im Pflanzenwuchs, plötzlich Merkmale einer Versalzung zeigen, deren Ursache häufig nicht begriffen wird. Die Versalzung klingt zwar zunächst, wenn auch nur langsam ab, aber bei öfterer Wiederholung schadet sie dem Boden und ändert seine Eigenschaften.

Wie können wir aber versalzten Böden begegnen?

Die Frage erscheint nicht als hoffnungslos, soweit man sich der Leistungen der Geobionten erinnert und diese in richtiger Zahl am entsprechenden Platz einsetzt. Eine Humifizierung von Salzböden gibt es.

Die Mineralaufschließung an sich wurde bereits praktisch erprobt. Es gelang innerhalb eines Jahres aus ausgebrannten, vulkanischen Aschensteinen eine „Erd“schicht von 15-20 cm Tiefe zu erzielen! Der Prozeß ist ähnlich dem bei Salzböden, denn alle Bodengesteine sind mehr oder minder reich an sauren oder alkalischen Stoffen. Mexikanische Böden rund um die Hauptstadt, besonders aber im Süden, weisen auf Grund einer natürlichen Versalzung ein pH von 9—10 auf. Ihre Alkalität sinkt nach entsprechender Behandlung in 2—3 Jahren auf pH 7-8. Lüftung, Kapillartätigkeit und Wasserzirkulation stellen sich ganz von selbst wieder ein. Die Strukturveränderung ist nicht nur im Mikroskop, sondern auch mit freiem Auge erkennbar.

Fassen wir die von sehr verschiedenen Seiten her stammenden Erkenntnisse zusammen:

Alle Schäden, die dem Boden durch Versalzung zugefügt werden, sind heilbar. Bodenschädigungen durch Handelsdünger, wie sie sich bisweilen im Laufe von Jahren herausstellen, fallen fast restlos unter die Rubrik „versalzene Böden“. Versalzene Böden können aber regeneriert werden, denn durch Edaphon wird die mineralische Substanz rascher umgesetzt und durch

symbiotische Vermittlung in verbesserter Form an die Pflanzenwurzel weitergegeben.

Unter Einschaltung der edaphischen *Mikroflora* wirken sich die Handelsdünger nicht mehr ausschließlich zugunsten der Pflanze und zur Erzielung einer Maximalernte aus, sondern sie kommen gleichzeitig auch der Humusbildung zugute, die ja ihrerseits wieder der Urquell sich ständig erneuernder Fruchtbarkeit ist.

Innerhalb dieses gangbaren Weges kommt der sinnvollen Handelsdüngernutzung als unentbehrlichem Faktor der heutigen Landwirtschaft besondere Bedeutung zu.

VI. DIE PROBLEME DER BODENVERBESSERUNG

Fruchtbarmachung steriler Böden

Ein Teil der sterilen Böden entstand durch erdgeschichtliche Vorgänge, ein anderer durch Verschulden des Menschen. Es gibt ja ein Schlagwort dafür: „The man made desert“ — die durch den Menschen entstandene Wüste.

Wahrscheinlich wies die Kreidezeit die umfassendsten und längst dauernden Wüstenzonen während der Erdgeschichte auf. Wir wissen nicht, ob die einander folgenden Erdperioden, welche neue Faunen und Floren erstehen ließen, sich langsam einschlichen oder urplötzlich auftraten. Jedenfalls haben sie immer wieder unserem Planeten einen wesentlichen Teil seines Humus-schatzes gekostet, der dann neu durch Organismen aufgebaut werden mußte. Dafür wissen wir um so mehr von der durch menschlichen Eingriff entstandenen Wüste. Sie ist, erdgeschichtlich gesehen, jüngsten Datums, nämlich kaum älter als 5000—7000 Jahre.

Der Weg war immer der gleiche. Der Wald baute Speicherhumus auf. Diese Humusreserve wurde nicht angegriffen, solange sich die landschaftlichen Verhältnisse nicht änderten. Fiel der Wald durch die Hände des rodenden Menschen, so blieb die Humusreserve zurück. Mehr als ca. 6 m tief ist aber keines dieser alten natürlichen Humuslager. Aus den Schichten der Steinkohlenlager ist zu schließen, daß nur die Humusbildung des Erdalters Decken von viel größerer Mächtigkeit schuf.

Was an organischen Reserven nicht der Kohlebildung verfiel, oder, wie die tropischen Urwälder oder die sibirische Taiga unberührt blieb, das verschlang im Laufe der Zeit der Ackerbau und die spezielle Plantagenwirtschaft. Man muß annehmen, daß schon in prähistorischen Zeiten der Humusschwund eingesetzt hat, denn Ägypten und die antiken Kulturen Vorderasiens übernahmen bereits verwüstete Gebiete.

Schon die Vorantike wußte, daß man bewässern müsse, wenn man ernten wolle, denn es gab damals schon umfassende Kanalanlagen, die z. B. Euphrat und Tigris verbanden, sowie durch Sklavenarbeit geschaffene Staubecken. Wahrscheinlich düngte man auch schon mit dem Mist der Haustiere, in Griechenland auch aus Latrinen. Man war sich also bewußt, daß „Fruchtbarkeit“ erhalten werden muß. Immer wiederkehrende Kriege und barbarische Verwüstungen von Land zu Land führten zu einer Vernachlässigung der Bewässerungsanlagen, zu einem Aufhören der Kanalwirtschaft, wie auch grundsätzlich die Böden in Vorderasien und Südosteuropa so ausgenützt wurden, daß die degenerierten Felder später kaum mehr von einer *Macchia* besiedelt wurden. Wahrscheinlich war die Wasserwirtschaft restlos zerstört. Es gab offenbar nur noch Überschwemmungen, die den Rest der Erde wegspülten. Ober das Land wirbelten die Staubstürme der Wüste.

Die später einwandernden turkmenischen Reitersippen und die slawischen Hirtenvölker, die allmählich mit ihren Ziegenheiden über den Balkan herunterstiegen und den einstigen antiken Lebensraum zu besiedeln begannen, waren keine Ackerbauer. Ihre anspruchslosen Ziegen und halbwildern Pferde fraßen, was sie an Disteln und mageren Hartgräsern fanden. Die Menschen lebten von Fleisch, Milch und Milchprodukten. Vielleicht wäre es damals noch leicht gewesen, die rapid fortschreitende Bodenverarmung einzudämmen. Aber es fehlte an landwirtschaftlicher Erfahrung, es fehlte die Verbundenheit mit dem Boden und jegliche technische Voraussetzung.

Dies ist die eine Linie der „man made desert“.

Es gibt aber auch noch eine andere, bei welcher das Sterben des Bodens viel langsamer vor sich ging. Sie ist seit Pfahlbautagen verkörpert durch Ackerbauer, die nur noch nebenher Jäger waren. Sie wohnten in einer Art erweiterter, Hügelburgen. Auf schmalen, erhöhten Streifen pflanzte man Gerste und Einkorn, später Flachs, in den Tropen Reis, Maniok und Bananen, in Afrika Hirse, in Amerika Mais. Ungezählte Generationen ernteten auf demselben Streifen Land, denn es war mühsam, solche „Bifänge“ herzustellen. Immer wieder verlegte man sie, leitete vielleicht Jahrhunderte später Bäche heran, ließ zum Schluß alles liegen und verwahrlosen, wenn Nomaden einfielen, oder wenn die Pest oder ein sonstiges Unheil kam. Auch wenn dies nicht der Fall war, verarmte der Boden doch allmählich so, daß er weder Weizen, Gerste, Roggen oder Mais, noch Hirse oder Reis trug. Leere Stellen entstanden, welche späterhin versumpften oder versandeten: Gestorbene Böden, neben denen man wiederum neu roden mußte. In jedem Kontinent finden sich die Spuren einstigen unwissenden Raubbaues, der nicht wieder gutgemacht wurde, weil es ja rundum noch so viel fruchtbares Land gab, das man nur zu bearbeiten brauchte. Man nahm die Unfruchtbarkeit als Strafe Gottes hin.

Europa kennt ausgedehnte Gebiete „gestorbener Erde“ an seiner Südflanke. In Spanien wie an der Adria und in Süditalien finden wir immer dieselben nackten Mondlandschaften. Überall dort war einmal eine fruchtbare Erdschicht, die im Laufe von Jahrhunderten weggewaschen wurde. Heute muß der Bauer in Körben und Säcken bebaubaren Boden schleppen, um damit Erosionskrater und ausgespülte Einsenkungen zwischen dem Gestein aufzufüllen. Diese künstlich errichteten „Erdtöpfe“ umgibt er mit Steinwänden, die ihrerseits wiederum mit trockenem Dorngestrüpp erhöht werden, damit kein Weidetier sich an dem oft nur wenige Quadratmeter großen „Feld“ vergreift. In den heißen Ländern pflanzt man jetzt auch häufig „lebende“ Schutzzäune aus Opuntien und Agaven.

In Europa gab es früher kaum einen Fuß breit Land, der unbewaldet oder pflanzenlos war. Deshalb waren auch keine natürlichen Vorbedingungen für die Erosion und Humuszerstörung gegeben, die heute ein so bedenkliches Ausmaß angenommen haben. Die Alpen allerdings unterliegen einer klima-

bedingten Abtragung. Eine lokale Waldvernichtung gleicht sich bei den langsamen Abläufen der Einebnung und Talausfüllung wieder von selber aus und ist deshalb kein einschneidendes Geschehen. Aber auch Europa hat durch Humusverfall soviel Böden eingebüßt, daß eine Wiederfruchtbarmachung vor- dringlich geworden ist.

Während alle durch Erdkatastrophen hervorgerufenen Wüstenbildungen große Gebiete in kürzesten Fristen erfaßten, ist es für die „man made desert“ charakteristisch, daß sie sich aus verhältnismäßig kleinen Ansätzen erst langsam, dann immer schneller entwickelt. Der Vergleich mit einer zuerst unbedeutenden, dann durch Vernachlässigung sich rasch vergrößernden und schließlich unheilbaren Wunde liegt sehr nahe.

Fast immer beginnt das Unheil mit fortgesetzter Waldzerstörung. Gewiß werden auch in der Natur immer wieder durch Unwetter und Naturgewalten Wälder zerstört. Aber der Mensch rodet systematisch, um die freigelegten Stellen durch intensiven Anbau auszunützen und zu erweitern. Am raschesten wird der Schaden offenbar, wenn Flußufer oder Hügelflanken bebaut wurden wie zur Urzeit, wo die Wasserstraßen meist die einzigen Verkehrswege waren (sie sind es im Inneren Afrikas heute noch) — und weil die Hügelburgen und -Städte leichter gegen Angreifer verteidigt werden konnten. Damit wurde dem Humusschwund Tür und Tor geöffnet.

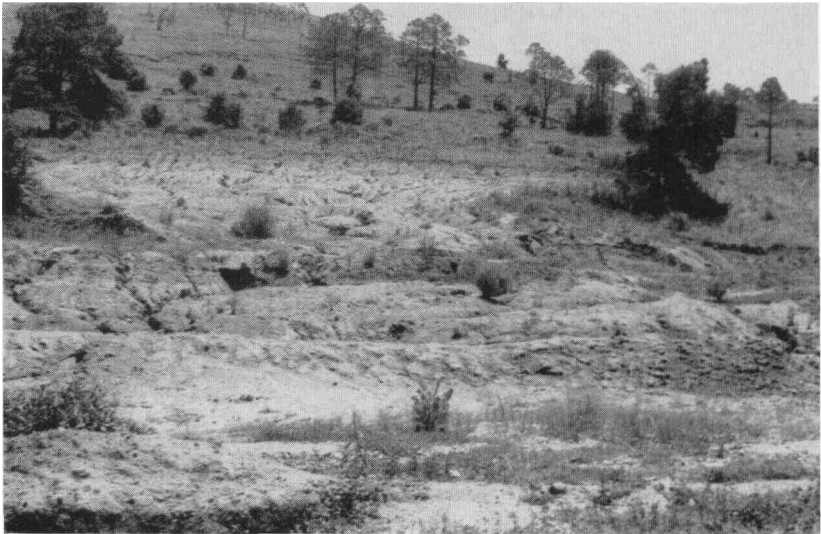
Überschwemmungen reißen unaufhaltsam ein Stück Kulturland um das andere fort. Die Erde wird weggetragen. Es bilden sich jene „serpentinierenden Wasserströmungen“, die Sandbänke, Parallelgerinnsel und deltaartige Ausbreitung der Vermurungen im immer weiter werdenden Flußbett schaffen. Die rapid zunehmenden Erosionsgeschiebe aus dem Ober- und Mittel- lauf legen eine sich rasch erhöhende Barre vor die Mündung. Diese verstärkt entweder den natürlichen Schelfsockel durch Wälle von Geröll oder sie drückt die Flußwelle wieder landeinwärts, die unfruchtbare Verlandungszone immer weiter zurückschiebend.

Gleichzeitig wandert auch der Humusschwund mit allen seinen Erscheinungen flußaufwärts. Aus Riegeln härterer Gesteine werden abfallende Steilstufen herausgewaschen, über die sich Wasserfälle stürzen. Ihre nach allen Seiten ausflutende Kraft reißt das Land in tiefen Schollen auf.

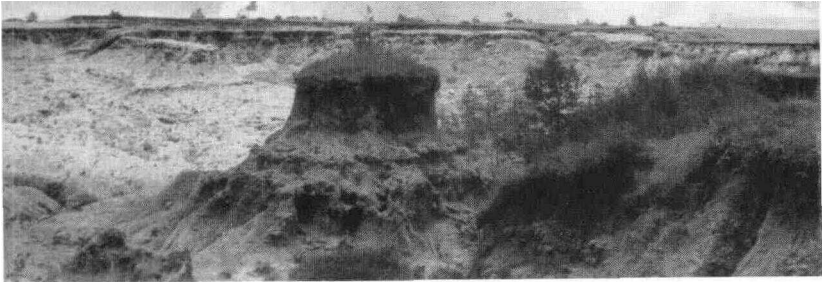
So müssen sich auch die Ansiedler immer weiter landeinwärts zurückziehen, gewissermaßen auf der Flucht vor der ständig sich ausdehnenden Erosion. Erreicht die von den Mündungsgebieten ins Landinnere sich ausbreitende Waldvernichtung erst einmal den Oberlauf, dann beginnt ein allmähliches Versiegen der Wassermenge, denn das abgeschwemmte Erdreich ersetzt sich nicht und damit hört auch die Speicherung der Niederschläge auf. Die bisher verdeckten Steinfelder, Kies- und Sandbänke werden sichtbar. Wohl versuchen noch einzelne Pflanzeninseln da und dort Fuß zu fassen. Aber in dem rollenden Grund gelingt das nur selten und vor allem niemals



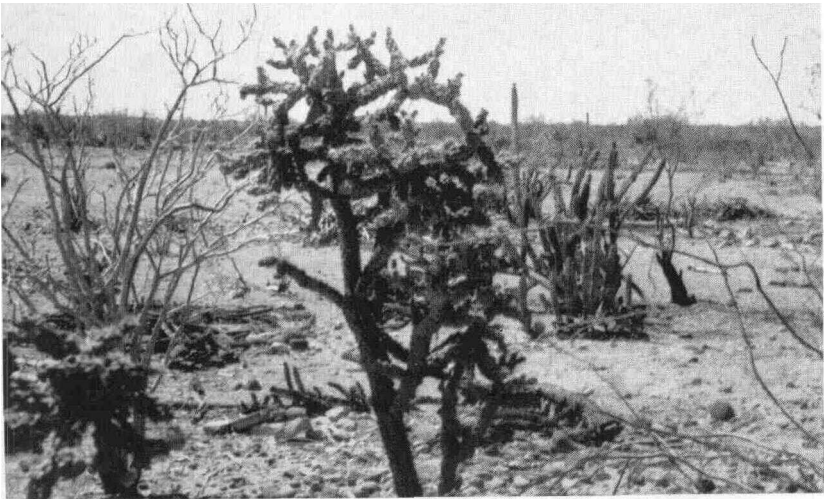
Ausgedroschene Maiskolben (Spindeln) werden huminiert



Reste eines niedergeschlagenen Waldes (Mexikanische Hochebene)



Erosionsfolgen in Tlaxcala/Mexiko



Kaktuswüste in Niederkalifornien mit offenen Flugsandstrecken

auf Dauer. Immer wieder werden die anliegenden Felder mit Erosionsgut überschüttet. Sandstürme wechseln mit plötzlich einsetzenden Überschwemmungen. Das geht so lange, bis sich der Besitzer schließlich vor unbebaubar gewordenem Land sieht.

Mit dieser Entwicklung wandelt sich auch das Klima. Die bisherige Gleichmäßigkeit der Niederschläge weicht extremen Dürre- und Regenperioden. Oft sprunghaft nimmt die Dürre zu. Armselige Rinnsale treten an die Stelle ehemals gleichmäßig flutenden Wassers. Schließlich versiegen auch sie. Die ganze Flußlänge verkürzt sich immer mehr. Anstatt eines fruchtbaren, von natürlichen Kanälen durchzogenen Deltas liegt öde, von Staubtromben überwehte Steppe mit trockenen Creeks, die sich schnell in Halbwüste und Wüste umwandelt.

Ehemals fruchtbare Gebiete Asiens befinden sich mit ihrem Flußsystem heute in diesem trostlosen Zustand. Gestorbene Städte und verschwundene Kulturen erscheinen nicht nur als Denkmäler menschlichen Unterganges, sondern als Zeugen einer zerstörten, einst wahrhaft paradiesischen Natur.

Beinahe noch schneller geht die Bodenvernichtung an nackten Hügelflanken. Im tropischen und subtropischen Klima, in dem Regengüsse regelmäßig wiederkehren, genügt zuweilen schon ein halbes Dutzend Jahre, um geschlagene oder abgebrannte Waldhügel völlig abzuwaschen. Nur die unglaublich eng verflochtenen Wurzelnetze von Bäumen, Unterholz und Kräutern bringen es nach Art von alpinen „Schuttstauern“ fertig, den abschüssigen Boden an Ort und Stelle festzuhalten. Davon entblößt, kommt er bei dem Regenguß ins Rutschen. Auf dem felsigen Untergrund findet er keinen Halt.

Die zahlreichen Quellen, die ausnahmslos in der Humusschicht entspringen, versiegen mit deren Verschwinden. Die Krume, mit der Feuchtigkeit ihrer kolloidalen Bindung beraubt, wird ausgedörrt und abgeweht. Baumwurzeln finden dort keine Nahrung mehr. An ihrer Stelle siedeln sich in den mittel- und südamerikanischen Ländereien Maguey und Nopal (Agaven und Opuntien) an, welche die Trockenheit ertragen. Ihre Wurzeln sind klein und flach. Sie zwängen sich in die Spalten, aber sie können nicht in den Fels eindringen. Die restliche Erdschicht rutscht sowohl bei extremer Trocknung wie bei extremer Durchnässung oft in langen Platten ab. Sie reißt all das ungenügend verankerte Wurzelwerk, auch Agaven und hohen Orgelkaktus, mit sich in die Tiefe und der nackte Fels tritt wie ein vom Fleisch entblößter Knochen zutage.

Damit hört nicht nur jede Bebauung, sondern auch jede Humusneubildung auf. Von nun an gibt es nur noch Erosion, die sich stetig weiter ausbreitet. Es entsteht eine Felsenwüste, nackt und wasserlos. Jede Regenzeit überspült sie mit brausenden Torrenten, die bis hinunter zur Talsohle die allerletzten Reste von Erde abschwemmen. Jahrzehnte, Jahrhunderte lang dauert es, bis sich auf den rein kristallinen Wänden dunkle Tintenstriche als Uranfänge einer Neubesiedelung bilden.

In der biologischen Grundbetrachtung gibt es zwischen der echten, geologisch entstandenen und der durch menschliche Schuld geformten „man made desert“, sowie den zerstörten Savannen, Prärien und Pampas im Grunde genommen keine wesentlichen Unterschiede: entscheidend ist, daß es in allen Fällen den lithobiontischen Mikroben unmöglich gemacht wird, in Kürze wieder neuen Boden zu schaffen. Die Vorbedingungen dazu werden unterbunden durch dauernde Bildung von Flugsand, Winderosion und lang anhaltende Trockenperioden. So siegt schließlich die „Wüste“.

Sterile oder steril gewordene Böden müssen der Landwirtschaft zurückgegeben werden. Die Landwirtschaft hat aber daran nur Interesse, wenn in absehbarer Zeit die Böden in einen Zustand gebracht werden können, daß sie ohne allzu große Investitionen in den Produktionsplan einzugliedern sind.

ödländereien und Wüsten hat es auf unserer Erde immer gegeben. Aber keine überdauerte mehr als eine Erdperiode. Sie verschwanden teils in den Fluten des Meeres und blieben nach ihrem Zurückweichen als fruchtbares Land zurück, teils nach dem Gesetz der Kreisläufe, denen Staubstürme, Erosionsüberschwemmungen, Versandung und Entblößen der Böden zugehören.

Als Beispiel und Beweis für letztgenannte Konsequenzen sei einer der Berichte über die alles verdunkelnden Erdstürme über Chikago vor wenigen Jahren zitiert. Er begann mit einer Erklärung der Zusammenhänge:

„Die Staubstürme in den Ebenen des Südens hatten ihre Anfänge, als die Grasfläche von Ansiedlerpflügen am Ende des 18. Jahrhunderts umgebrochen wurde. Der erste US Dust bowl entwickelte sich im Thomas country (Kansas) im Jahre 1912. Die Entfaltung der Herstellung von Traktoren, dazu die nassen Jahre zwischen 1914 und 1931, außerdem die hohen Preise für gutes Farmland verursachten ein bedrohliches Anwachsen des Aufpflügens. Millionen von acres sandigen oder lockeren Sedimentböden wurden mit Weizen, Mais und Baumwolle bepflanzt. Während der Dürren um 1930 lag eine unbedeckte, staubtrockene Erde schutzlos unter den aushagernden Winden. Innerhalb des zweiten Weltkrieges brachten ausgiebige Regenfälle abermals eine Erhöhung des unheilvollen Zyklus. Wieder wurden Millionen acres leichter Sedimentsandböden umgepflügt und bepflanzt von ‚suitcase farmers‘, die nur den sicheren Dollargewinn im Auge hatten.“ (Time, März 1954.)

Immer wieder wird in ähnlichen Berichten von der „Bildung neuer Zyklen“ gesprochen, innerhalb deren regenreiche Jahre mit ausgedehnten Überschwemmungen mit solchen absoluter Regenlosigkeit abwechseln.

Im allgemeinen beträgt die Abnahme der Niederschläge 50%—10% des einst normalen Regenfalles. Eine Regenminderung um 50% hatte bereits Erdstürme zur Folge, die den Himmel über Chikago während der frühen Nachmittagsstunden in eine gelbbraune Dämmerung verwandelten, in welcher selbst die Scheinwerfer der Autos nicht mehr hinreichend Licht zum Weiterfahren spendeten.

Solche Erdstürme sind charakteristisch für eine hochgradige und weitausgedehnte Erosion. In Mexiko erlebt man sie in jedem Winter und Frühling, ehe die Regenzeit einsetzt. Man begegnet ihnen in Vorderasien, in Ost- und Südeuropa, in Nordafrika und im Herzen Australiens, am Rande der Sahara. Auch die meisten Gebiete Zentralafrikas blieben nicht verschont (man denke nur an den Erdnußskandal von Tanganjika). Dennoch rodet man in Senegambien jährlich 25 000 ha Land für Erdnußplantagen, ohne die klimatischen Folgen zu berücksichtigen. Südrußland und Südamerika, die riesigen Gebiete Ostasiens kennen den Staubsturm als etwas immer Wiederkehrendes. Diese Staubstürme sind an kein Klima und an keinen Erdteil gebunden. Sie sind die Vorreiter der Erosion.

Wir wissen heute von der Bodenverwüstung und ihrem gesetzmäßigen Ablauf, daß dem Absinken des Grundwasserhorizontes ein Nachlassen der Niederschläge folgt, daß die „Bodenmüdigkeit“ nur der Vorläufer des Humusschwundes, daß der Humusschwund ein warnendes Zeichen für beginnende Erosion ist und hinter der Erosion die Wüste lauert. Der Mensch kann durch Monokulturen in ein paar hundert Jahren den Boden zerstören, aber die Natur vermag oft erst in Tausenden von Jahren ganz allmählich aus der Wüste wieder neues Leben hervorzubringen.

Nichts ist wichtiger für den Landwirt, als rechtzeitig zu beobachten, wann und wodurch der erste Humusschwund einsetzt. Erste Anzeichen dafür sind: Schütterwerden des Getreides, auffallendes Oberhandnehmen der Parasiten und Schädlinge, kontinuierliches Absinken des Grundwasserspiegels, Ermüden mehrjähriger Kulturen (Perennen), sich ständig verringemde Erträge.

Treten diese oder jene Erscheinungen (oder gar mehrere gleichzeitig) auf, so kann man mit Sicherheit darauf schließen, daß der Boden einen wesentlichen Verlust an organischer Substanz erlitten hat und daß gewisse Edaphon-Gruppen ausgestorben sind. In diesem Fall nützt eine vermehrte Düngung nur teilweise, denn zuerst muß die Basis aller Düngung, der humusreiche Boden, wieder hergestellt werden.

Wenn sich im Boden auch nach der Regenzeit (in Europa und anderen gemäßigten Klimaten nach dem Winter oder im späten Frühling) noch sehr viel Wurzelwerk, schlecht verrottetes Pflanzenmaterial und nicht aufgeschlossener Stallmist feststellen lassen, dann bedeutet das, daß deren Umsetzung unterbrochen wurde. Normalerweise genügt nämlich, außer bei sehr resistenten Geweben, etwa ein halbes Jahr zur Verrottung. Der Boden vermag diese seine Aufgabe dann nicht zu leisten, wenn es ihm an Organismen und an organischer Substanz fehlt. In der Natur gibt es solche Unterbrechungen nur dort, wo sich Gewächse in Trockensteppen oder an Wüstenränder vorwagen. Dort zerfällt der Pflanzenkörper in einer trockenen Vermorschung zu Staub und dieser Staub wird mit dem starken Morgentau in die oberste Bodenzone gebracht. Der Prozeß geht sehr langsam vor sich und der Nutzeffekt ist schon darum gering, weil immer ein wesentlicher Teil dieses organischen Staubes

von den Winden abgeweht wird. Es scheint edaphische Organismen zu geben, die diesen Staub direkt zersetzen und der Wurzel zugänglich machen. Aber der ganze Vorgang kann mit der eigentlichen Humusbildung nicht verglichen werden. Er bringt auch — angesichts der sparsamen Niederschläge — niemals Humus hervor. Humus ist der Mittelpunkt eines dauernden Kreislaufes: Pflanze — Mikrobiözönose — Mensch und Tiere — Erde. In tropischen Breitengraden ist der Zyklus kurz und er wird immer länger, je näher man an die beiden arktischen Zonen herankommt. Die Zellulosezerersetzer halten dieses Rad unermüdlich in Umlauf. Sie bewältigen den Abbau. Ohne sie steht das Rad still.

Die Aufgabe des Landwirtes seinem Boden gegenüber ist einfach. Er braucht nur für ständigen Humusersatz zu sorgen. Der Lohn ist eine bessere Ernte, sowohl an Quantität wie an Qualität, und das beruhigende Gefühl, der Erosionsgefahr zuvorkommen.

In Europa oder in den USA ist die Erosionsbekämpfung leichter durchzuführen als in südlicheren Zonen, weil man im gemäßigten Klima eine weit größere Auswahl der Anbaumöglichkeiten hat. Monokulturen können gegen solche, die andere Boden-, Wasser- und Klimaverhältnisse vorziehen, ausgetauscht werden. Schwieriger ist dies in jenen Ländern, wo es eine traditionelle Ernährungsform gibt, an welche die Bevölkerung seit jeher gewöhnt ist.

Der Indio hat in fast allen mittelamerikanischen Staaten vom Gemeinde- oder Dorfbesitz her nach dem alten System der Milpa nur ein kleines Stück Boden. Er lebt hauptsächlich nur von „Maiz“, „Chiles“ und „Frijoles“. Sein ganzes Dasein ist auf diese 3 Pflanzen eingestellt. Dabei ist nur der Mais auf Silikatböden spezialisiert. Er gehört zu den Gräsern, die Kieselsäure in Schaft und Blätter und in die feine Behaarung, welche die meisten Hochlandsorten aufweisen, einlagern. Den durch ständigen Maisanbau weitgehend erodierten, an organischer Substanz verarmten Böden fehlt fast immer eine zur Humusbildung befähigte lithobiontische Mikroflora. Der einzelne Indio vermag sich gegen die Bodenverarmung kaum zu wehren. Der absinkende Grundwasserspiegel trocknet ihm die „Pozos“, die selten über 10—15 m tief sind, aus. Zugrunde gegangenes Maisland ergibt aber auch keine Weide und die Tiere verschmähen das bißchen, was dort in der Trockenheit noch wächst; den weißen Stachelmohn (*Argemone*), eine widerstandsfähige wilde Reseda, etwas Sandgras (*Psammophila*), ein ausdauernder *Tribulus terrestris* und eine Auswahl stacheliger Nachtschattengewächse. Bisweilen siedeln sich auch Opuntien, Agaven und verschiedene Kaktusarten an, die nicht einmal ein Esel frißt. Die Haustiere lassen das alles stehen und nagen lieber die Grasnarbe millimeterweise ab.

Um der Bodenverarmung durch den Maisbau vorzubeugen, habe ich über 2 Jahre lang mit der lithobiontischen Biozönose „Petrofil“ Versuche durchgeführt.

„Petrofil“ wird um ein Maiskorn in feuchtem Zustand gepackt. So entsteht eine kleine Kugel, im Spanischen „bolita“ genannt. Sie hat einen

Durchmesser von ca. 2 cm, und die Umhüllungsmasse im trockenen Zustand mitsamt dem Maiskorn wiegt ca. 3 g. Die „Bolita“ läßt sich monatelang aufbewahren. Eingesät wird sie wie jede Maissaat.

Die im „Petrofil“ eingesäte lithobiontische Biozönose beginnt sehr bald zu arbeiten. Im Umkreis um die Wurzel schließen die Mikroben die Mineralien auf, vermehren sich, sterben ab und schaffen so organische Substanz. Überall sind die feinen Adventivwurzeln von Zoogloeen umhüllt und die Wurzelhaare von wasserspeichernden Kolloiden umgeben. Durch die Symbionten werden den Wurzelhaaren Nährstoffe zugeführt, vergleichbar der Mykorrhiza bei den Waldbäumen.

Ein unter normalen Verhältnissen nicht mehr bebauungsfähiger Boden vermochte nach der Behandlung des Saatgutes mit „Petrofil“ Mais in der Höhe von 2,80 m, wenn auch nicht mit riesigen, so doch immerhin gut entwickelten Kolben hervorzubringen. Es konnte wenigstens eine „hinreichende“ Ernte erzielt werden.

Besonders bedeutsam ist aber folgendes: Ausgehend von den Bolitas beginnt der Boden, sich ringsum durch Entstehen organischer Substanz zu regenerieren. Eine „Bodenbildung“ setzt ein. Aus dem „Splitterwerk“ der Tepetate entsteht bereits in 7 Monaten eine organisch durchsetzte Schicht von über 15 cm Tiefe. Der Versuch wurde weitergeführt. Diese neugewonnene, selbstverständlich noch übermineralische „Erde“ trug ohne Düngung im nächsten Jahr einen Mais, der wesentlich besser war als der letzte ohne „Bolitas“ gesäte. Dieser hatte nicht über 40 cm Höhe erreicht und nur eine Notblüte entfaltet, deren spärlicher Fruchtansatz von 5—8 Körnern nicht einmal im langen mexikanischen Sommer reif wurde.

Solch ein mit „Lithobionten“ angereicherter Boden ist natürlich noch lange kein Humus. Aber die Mineral-Zersetzer sind es, die zuerst ein Maximum an Kolloiden produzieren.

Viele mikroskopische Untersuchungen gaben mir in die Struktur solcher Pionierböden Einblick. Sie ist deutlich als nachfolgende Stufe der lithobiontischen Zoogloeeabildung zu erkennen. Dabei kombinieren sich bereits die rein lithobiontischen Leitformen mit den echten Edaphonformen: Rhizopoden wandern ein. Der geringe und einförmige Bakterienbestand erhöht und vermehrt sich. In auffälligem Ausmaß ist *Azotobacter chroococcum* vorhanden. Er gedeiht auch hier am besten in Symbiose mit Grün- und Blaualgen, die ihn mit Sauerstoff versorgen.

Die Wurzelbildung von mit Petrofil behandeltem Mais zeigt geradezu üppiges Ausmaß. Die Stränge erreichen vereinzelt bis zu ein Drittel Meter Länge. Der Reichtum an Adventivwurzeln und Wurzelhaaren ist auffallend.

Die ausgewählte lithobiontische Biozönose des „Petrofil“ bewirkt also eine beschleunigte Umsetzung mineralischer Substanz und ist Vorläufer einer allgemeinen Besiedelung von Sand-, Ton-, Lehm- und mineralischen Böden insgesamt mit oligosaproten, humusbildenden Mikroorganismengruppen, die letzten Endes zum „Edaphon“ führen.

Rhizobienhumus

Jeder Landwirt weiß Bescheid über den Wert der Knöllchenbakterien an Leguminosen. Sie sammeln den Luftstickstoff und machen ihn für die Pflanze nutzbar, durch die er dem organischen Kreislauf einverleibt wird. Da der Eiweißreichtum der Leguminosensamen durch die Tätigkeit der Knöllchenbakterien bedingt ist, wird bei Mangel an solchen die Samenausbildung z. B. bei Bohnen, Erbsen, Linsen usw. beeinträchtigt. Nur die Sojabohne scheint gelegentlich auch ohne Knöllchenbakterien auszukommen.

Heute reichert man den Boden bewußt mit Knöllchenbakterien an. Sie sind nach Rassen spezialisiert und können nicht beliebig z. B. von der Bohne auf die Luzerne übertragen werden. Einen Großteil ihres Lebens sind sie echte Humusbewohner. Denn vom Herbst bis zum Frühsommer halten sie sich — wenigstens im gemäßigten Klima — im Boden auf. Zu dieser Zeit haben sie Stäbchenform. Während sie die Knöllchen bewohnen, bilden sie eine gegabelte, die sog. „Bakterioidenform“, die sicher nicht nur mit dem Wechsel der Umwelt, sondern wohl auch damit zusammenhängt, daß sie die Bodenluft durch die großzelligen Knöllchenwände empfangen. Im Herbst öffnen sich die Knöllchen und die Bakterien wandern in die Erde aus. Dann nehmen sie wieder Stäbchengestalt an. In den wintergrünen Ländern treten zu jeder Jahreszeit an den Leguminosenwurzeln leere und besetzte Knöllchen auf.

Es ist der Wunsch eines jeden Landwirtes, in seinem Boden möglichst viele dieser nützlichen Organismen zu besitzen. Dabei ist aber folgendes zu berücksichtigen:

Jeder Boden verfügt über einen Mikrobenbestand, der so umfassend ist, als es die Lebensverhältnisse und der Lebensraum erlauben. Es sind also auch so viele Rhizobien vorhanden, als ihr Auskommen finden können. Ihr Lebenskreis ist abhängig von der Menge des in der Bodenluft enthaltenen Luftstickstoffes. Aus eigener Kraft vermögen sie keinen Stickstoff zu produzieren, da sie ja keine Zersetzer sind. So ist bei der künstlichen Impfung mit *Elact. radicola* und *Radiobacter* oder *Amylobacter* usw. zu berücksichtigen, daß sie in der Erde genügend Luftstickstoff zur Verfügung haben. Andernfalls verhungern sie binnen 4—6 Wochen. Als Laboratoriumskulturen sind sie zudem besonders anfällig und dem Leben im Freiland nur bedingt gewachsen. Luft und damit auch der Luftstickstoff ist im Boden aber nur dann vorhanden, wenn hinreichend organische Substanz vorliegt.

Im Ackerboden sind *Bact. radicola* und *Radiobacter* mit einigen Symbionten vergesellschaftet, die mit ihnen auch sehr oft innerhalb der Knöllchen zusammenleben. Man muß annehmen, daß alle die Kleinlebewesen untereinander lebenswichtige Stoffe austauschen. Im Humus als mitgegebenem Lebensraum lassen sich Knöllchenbakterien nicht nur leicht ansiedeln, sondern leben auch garantiert weiter. Durch ihn bekommen sie genügend Feuchtigkeit und ihre Symbionten die Nährsalze, die sie in konzen-

trierter Form, sei es Mineraldünger oder Stallmist, weniger gut vertragen. So entwickelten wir in unseren Laboratorien den „Rhizobienhumus“, der sich nun auch schon im Laufe vieler Versuche und in der Grobwanwendung sehr gut bewährt hat. Er entspricht am ehesten den natürlichen Umständen und ermöglicht es, den Boden mit Knöllchenbakterien anzureichern. Er verbessert ihre Lebensbasis und damit auch die Lebensbedingungen der Leguminosen.

Die Luzerne ist z. B. eine Pflanze, die heute auf dem besten Wege ist, steril zu werden. Sie erreicht im Durchschnitt kaum noch einen halben Meter Höhe, während sie einst so hoch wuchs, daß sie einem Reiter bis zu den Knien ging. Ihre nächsten Verwandten, die heute noch wildlebenden Melilotusarten, kommen in der Kultur (z. B. *Melilotus alba*, der weiße Steinklee) fast auf 3 m Höhe und lassen sich im subtropischen Klima zu immergrünen Perennen umzüchten. Ihre ungebrochene Lebenskraft erklärt sich durch die Besiedelung des mächtigen Wurzelstockes mit Hunderten, ja Tausenden von Bakterienknöllchen. Eine natürliche Regeneration dieser alten Kulturpflanzen gelingt mit Rhizobienhumus.

Für den Landwirt, der sich aus seinen Abfällen selber Humus herstellt, ist es leicht möglich, pro 1 ha 5—10 t Rhizobienhumus zu plazieren. Das sollte wenigstens alle 2—3 Jahre der Fall sein. Um dem Landwirt einen Begriff zu geben, wie groß der Nutzen von Rhizobienhumus sein kann, möchte ich hier einen kleinen Auszug aus unseren Versuchsprotokollen anführen:

Bei winterwüchsigen Arten ergaben die Alfalva-Versuche in den Jahren 1953—1955 sogar während einiger Kälteeinbrüche bis zu -10°C (wobei zwar die Blattspitzen abfroren, aber die Pflanze nicht schwer geschädigt wurde und sich rasch erholte) folgende Resultate:

Versuchsbeet mit einer Gabe von 10 t Rhizobienhumus pro 1 ha:

Erster Schnitt — Ertrag 3,80 kg/qm frische Alfalva. Die Pflanzen entwickelten sich gesund, kräftig, durchschnittlich einen halben Meter hoch. Das ganze Jahr über kann monatlich geschnitten werden, wobei in der Regenzeit der Ertrag bis auf 5 kg ansteigt.

Versuchsbeet ohne Rhizobienhumus:

Erster Schnitt — Ertrag 2,80 kg/qm frische Alfalva. Es kann bestenfalls 6mal im Jahre geschnitten werden. Die Pflanzen erreichten nicht über 40 cm Höhe. Sie waren stark verunkrautet und zeigten Pilzinfektionen. Der Ertrag wechselte bei weiteren Schnitten von 750 g bis 2 kg.

Vergleicht man die Erntemengen der ersten Schnitte (wobei diese bekanntlich niemals die besten sind), so ergibt sich—ohne Berücksichtigung der späteren Erträge — bei nur 6 Schnitten pro Jahr eine Differenz von 60 t/ha Alfalva zugunsten des mit Rhizobienhumus behandelten Bodens.

Die überaus knöllchenreichen Wurzeln griffen fast dreiviertel Meter in die Erde. Die Wurzellänge beim Blindversuch erreichte nicht über 40 cm. Nach 14 Tagen schon zeigten die Keimlinge an ihren Wurzeln 2—3 winzige „nodu-

los". Selbst dort, wo nicht mehr als 4 t Rhizobienhumus auf 1 ha gegeben worden war, war in einem halben Jahr eine deutliche Verbesserung des Pflanzenhabitus zu konstatieren. Über die Bodenverbesserung waren sich alle Landwirte bereits nach einer Vegetationsperiode sowohl im Hochtal von Mexiko, als in den tiefer liegenden Gebieten, auch im trocken-kühlen Staat Hidalgo, einig.

Es ist dies ein Beispiel dafür, wie der Ertrag alter Kulturpflanzen durch Gaben von Rhizobienhumus zu steigern ist.

Außer den Knöllchenbakterien der Leguminosen gibt es auch noch andere Mikroben, die ebenfalls imstande sind, Luftstickstoff zu speichern. Sie leben „frei“ innerhalb der „Rhizosphäre“.

Am häufigsten tritt der „Azotobakter“ auf in vielen Arten: *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter Beijerincki*, *Azotobacter agile* sowie *Azotobacter Vinelandia* (in Amerika). *Azotobacter Beijerincki* ist elfenbeinweiß und wird später dunkel kaffeebraun, *Az. agile* fluoresziert hellgrün und ist sehr beweglich. Alle haben sie einen dicken Gallertmantel, den das Elektronenmikroskop als von rundovalen Miniatureinzellern bewohnt zeigt, über die man vorherhand noch wenig weiß.

Azotobakter tritt auf in Stäbchen- und Kokkenform, mit Vorliebe auch in Form von Doppelkokken. Die Leistung ist recht unterschiedlich, was nicht nur artbedingt ist, sondern auch von der Qualität des Bodens abhängt. Ihr Stickstoffbindevermögen schätzt man auf 10—40 kg pro Jahr und ha. Die *Bakt. radicola* können es auf 80—100 kg bringen. *Azotobakter* kommen vor von den Tropen bis zur Subarktis und bewohnen so ziemlich alle Zonen. Man findet sie auch in den verschiedensten Böden, vorausgesetzt, daß diese genügend durchlüftet sind. Man hat ihnen eine ausgesprochene Kalkbedürftigkeit nachgewiesen. Sie sind auffällig resistent gegen Versalzung. Sie vertragen ohne weiteres pH 8. Man findet daher *Azotobakter* auf alkalischen Böden und immer auch dort, wo durch alte Sedimentablagerungen in Brack- und Lagunengewässern, in einstigen „inlets“ oder landgewordenen Küsten eine rein halophile Flora wächst. Das gilt z. B. für die vielen, langsam austrocknenden mexikanischen Lagunen im Inland und an der Küste, für die Ufer des Schwarzen und Kaspischen Meeres und für die Landstriche an der Beach des Roten Meeres, für die Zone der Bitterseen und das Gebiet am Suezkanal. Dort wie auch am Texcoco- und Chalcosee nahe bei der Hauptstadt Mexiko, tritt er als eine Art transparenter Kokken auf, die besonders dicke Kolloidmängel produzieren. Die Salzböden der erwähnten Gebiete weisen einen pH-Wert von meist über 10 auf. Der *Azotobakter* ist trotzdem aber nicht imstande, direkt Salz aufzunehmen, denn er ist ja kein Bodenaufschließer. Ähnlich dem *Bakt. radicola* verwertet er nur Luftstickstoff, d. h. er setzt ihn aus der Gasform in eine organische Form um. Er ist darauf angewiesen, daß andere Bakterien den Luftstickstoff freimachen. Deshalb findet man ihn stets in der Nähe solcher „Vorarbeiter“ z. B. des zelluloseaufschließenden *Bakt. aerogenes*, des

Bakt. radiobakter, — das als verwandt mit ihm gilt — der anaeroben Amylobacter — und der aeroben Granulobacterformen und des Bact. radicola. Zur erweiterten Biozönose gehören die sauerstoffproduzierenden Grün- oder Blaualgen des Bodens. Er verwertet, was die beiden großen polysaprogenen und oligosaprogenen Bakteriengruppen an Luftstickstoff abspalten und was sonst binnen kurzem in die Atmosphäre entfliehen würde.

Mineralische Stickstoffdüngung ist ihm nicht von Nutzen, da er den Stickstoff nur in Gasform aufnimmt. Rohböden mit saurem pH flieht er. Das Wasserbedürfnis ist nicht annähernd so groß wie das der Rhizobien, die 75% Bodenfeuchtigkeit brauchen sollen. Er benötigt als Spurenelemente Eisen und Kupfer. Das Eisen kann auch durch Mangan ersetzt werden. Im Aschenrückstand findet sich auch Kali.

Auch Molybdän dürfte in seinem Stoffwechsel von Bedeutung sein. Aber nicht nur Bakterien vermögen den Luftstickstoff zu nützen, sondern auch die Grün- und Blaualgen besitzen diese Fähigkeit.

An der mikrobiellen Stickstoffbindung beteiligen sich sehr wahrscheinlich noch eine ganze Reihe von Einzellern, viele andere Arten von Bakterien, ein großer Teil der Bodenalgae und Strahlenpilze (Actinomyzeten und Proactinomyzeten). Darum dürften in einem idealen Humus, der 20% Edaphonorganismen beherbergt, weder Luftstickstoff, noch Kohlensäure verlorengehen. Beim Stalldünger dagegen entsteht ein Luftstickstoffverlust von 40—70% und ein ebenfalls hoher Kohlensäureverlust.

Der Landwirt kann also die wertvollen Nährgase seinem Boden erhalten und nutzbar machen, wenn er ihm mikrobiereichen Humus zuführt. So bekämpft er am sichersten die zunehmende Sterilität seiner Boden- und Kulturpflanzen.

Strukturverbesserung

Viele Kulturböden neigen dazu, zu verbacken oder zu verschlämmen. Man versucht dem abzuweichen, indem man von Zeit zu Zeit systematisch die Schollen lockert. Der Zustand des Verbackens und Verschlämmens entsteht dann, wenn die oberste etwa 5 cm tiefe Bodenschicht zu arm ist an Mikroorganismen.

Trotz seiner Acker- und Gartengeräte ist der Mensch nicht annähernd in der Lage, die mechanische Leistung der Mikroorganismen zu vollbringen, deren Tätigkeit zudem mit der Anreicherung von organischer Substanz verbunden ist. Eine häufige mechanische Bodenlockerung ist für die Mikrolebewelt ungünstig, denn die belebten Bodenzonen, d. h. die Schicht bis zu 30 cm Tiefe, werden vom Edaphon nach eigenen Bedürfnissen aufgebaut. Der Licht- und Luftverbrauch der einzelnen Biozönosen ist sehr verschieden. Das Umackern greift daher störend in ihre Lebensgewohnheiten ein. Statt den verbackenen und verschlämmten Boden immer wieder auf mechanischem Wege zu bearbeiten, muß man ihm Humus zuführen, der durch seinen Reichtum

an Mikroorganismen „die Bodenbearbeiter“ als Grundvoraussetzung einer Strukturverbesserung mitbringt.

Um die Jahrhundertwende fühlte sich jeder Landwirt verpflichtet, durch Drainage seinen Boden zu entwässern, obwohl schon damals — weltweit gesehen — das Absinken der Grundwasserhorizonte offensichtlich war, denn schon damals gab es wasserarme Flüsse und in vielen Gebieten eine deutliche Verringerung der Jahresniederschläge. Trotzdem wurden Quellmoore trockengelegt, Flußauen gerodet und Ödland „kultiviert“.

Hinterher stellte es sich heraus, daß man in dem Bestreben, die Natur verbessern zu wollen, vielfach unverzeihliche Fehler gemacht hatte. So wäre z. B. die Trockenlegung der Theißmündung in Ungarn, die Verwandlung des fruchtbaren Marchfeldes vor Wien in eine dürre Steppe, das Abzapfen des einstigen Texcocoesees vor der heutigen Hauptstadt Mexiko ins Meer, das eine von Staubstürmen wogende Sandwüste zurückließ, besser unterblieben. Heute versucht man, dieses Gebiet wieder künstlich zu bepflanzen, wobei aber das Fehlen von Wasser Sorge macht.

Ursache für die seinerzeitigen Austrocknungsmaßnahmen waren die früheren wiederholten Überschwemmungen. Offenbar hielt man den Wasserreichtum unseres Planeten für ebenso unerschöpflich, wie seine Fruchtbarkeit.

Die unüberlegten „Ödlandkultivierungen“ haben viel zur Senkung des Grundwasserspiegels und zum Humusschwund beigetragen. Man gewann zwar „Sauerwiesen“ und nasses Gelände zur landwirtschaftlichen Nutzung, aber benachbarte Gebiete verfielen der Trockenheit und der Erosion.

Falsche Drainage führt zu einer Zerstörung der Bodenstruktur in weitem Umkreis. Die jeweilige Bodenstruktur zeigt den Gesundheitszustand des Bodens an. Deshalb versucht man heute, auf künstliche Weise im Ackerboden eine „Bodenkrümelung“ auch dort herzustellen, wo längst keine natürliche mehr ist. Ein synthetisches Produkt zur Bodenlockerung, das mit großer Propaganda in USA empfohlen wurde, heißt „Krilium“. Dabei handelt es sich um ein für den Boden chemisch indifferentes Kunststoffpolymerisat, das auf rein mechanischem Wege dem Boden Krümelungsstruktur vermitteln soll. Ein biologischer Wert kommt Produkten dieser Art nicht zu.

Weitere Mittel zur Austrocknung nasser, kalter, schwerer Lehm- oder Tonböden sind stark hygrophile Mineralien wie z. B. Montmorillonit. Dieser schneeweiße Stein wird gemahlen, das Pulver in den Boden gestreut. Montmorillonit zieht rasch Wasser an und hält es fest, wodurch eine breiig-nasse Beschaffenheit des Bodens günstig beeinflusst wird. Aber auch derartige mineralische Zusätze vermögen dem Boden keine Nahrung zu bieten und ihn bei der Bildung organischer Substanz zu unterstützen.

Eine Art künstlichen Montmorillonits stellt man in Mexiko unter dem Namen „Agrolita“ aus Obsidianen her. Das harte graue Silikatgefüge, aus dem der Urmensch seine Waffen und Werkzeuge anfertigte, bläht sich schwammartig auf, wenn es in Eisenkesseln einer Hitze von über 1000° C aus-

gesetzt wird. Dieser poröse Schwamm saugt die Bodenfeuchtigkeit auf und wirkt als Wasserspeicher.

Zahlreiche Präparate zur Verbesserung steriler Böden bauen sich noch immer auf Torf und Torfstreu auf.

Wahrscheinlich sind diese Stoffe die ältesten, die der Landwirt als Zusätze verwendet. Sie sind billig, leicht und in großen Mengen greifbar. Torf hat aber den Nachteil, daß er sich nur schwer aufschließt. Er reagiert stark sauer. Sein pH-Wert liegt bei 3—4. Die edaphische Lebewelt des Acker- oder Gartenbodens ist nicht so hohen Säuregraden angepaßt.

Durch Zufuhr von hygrokopischen Mineralien und Torf wird zwar dem Boden überschüssiges Wasser entzogen, aber das Grundübel, die Humusarmut, nicht behoben. Maßnahmen zur Bodenverbesserung müssen die biologischen Gesetzmäßigkeiten des Bodens berücksichtigen. Nur das Bodenleben ist inmstande, die fehlende organische Substanz zu schaffen und dadurch Struktur, Wasserhaushalt und Pflanzenernährung zu bessern.

Wiederbelebung der Wüste

Fortschreitende Bodensterilität führt zur Wüste. Ausgedehnte Gebiete der Erde sind Wüste. Das Problem ihrer Erschließung und Wiederfruchtbarmachung wird immer wieder diskutiert. Bei der UNESCO liegen nicht weniger als 68 Pläne zur Urbarmachung von Wüstengebieten vor. Erdgeschichtlich gesehen sind Wüsten niemals etwas Dauerndes. Wenn der Grundwasserspiegel wieder steigt, kann sich im Laufe von fünf Generationen eine Wüste von selbst wieder begrünen.

Die Rückkehr des Pflanzenlebens vollzieht sich in demselben, aber umgekehrten Rhythmus, in dem es bei der Wüstenbildung verschwindet. Ähnlich wie bei der Verlandung schiebt sich zaghaft eine an ganz extreme Boden- und Klimaverhältnisse angepaßte Zwergflora in den Sand hinein. Immer wieder verschüttet, kämpft sie sich wieder ans Licht. Ihr unverhältnismäßig langes und dichtes Wurzelwerk ist mit zahllosen Zooglooen besetzt. Alle Gewächse, auch solche, deren Wuchs sonst ein ganz anderer ist, entwickeln eine ausgeprägte Rosette. Stiele, Blätter, Ausläufer, selbst Dornen versuchen, den Sand unter sich festzuhalten, denn er ist von ihnen selbst bereits mit etwas organischen Stoffen durchgeprägt. Die Büsche sind fast laublos. Die Blätter sind zu Stacheln umgeformt, wie dies z. B. charakteristisch ist für die Wüstenformen der Wolfsmilchgewächse. Oft finden sich Kandelaberbäume, bei denen die geschützten grünen Stengel assimilieren und unter einer Wachsschicht Wasser speichern. Bevor sich aber dieser Oberflächenbewuchs einstellt, hat eine salzliebende Lithobiontenmikroflora bereits den Boden besiedelt. Sie lebt vom ausgiebigen Morgentau und dem Kondenswasser der Luft und speichert die Feuchtigkeit in ihren Kolloidmänteln. In sehr alten Wüsten fällt kein Tau. Ihre Luftschicht erreicht nicht die 8—13% Feuchtigkeit, wie sie normaler-

weise Wüstenluft enthält. Durch die ständigen Staubstürme ist ihr Boden so tief gelockert, daß jede Bindigkeit verlorengeht. Damit ist auch das Mikroleben verschwunden, oder nur noch in Form von Sporen und Zysten vorhanden, die größtenteils in die Luft verweht werden und als „Luftedaphon“ weite Strecken zurücklegen. Die Niederschläge hören ganz auf.

Derartige alte Wüsten, wie z. B. die südamerikanische Atacamawüste, in der es seit mehr als 400 Jahren nicht mehr geregnet hat, vermögen sich nicht mehr selbst zu beleben.

Die Wiederbelebung einer Wüste durch den Menschen wird sich naturgemäß über einen längeren Zeitraum hin erstrecken. Mit technischen Hilfsmitteln wie Traktoren, Baggern, Schaufelmaschinen, Tiefgrundpflügen, Pumpen, Bohrmaschinen und Bewässerungskanälen kann nur die allergrößte Vorarbeit geleistet werden. Die eigentliche Bodenumwandlung aber ist ausschließlich das Werk der Bodenlebewelt. Sie muß die Mineralien organisch aufschließen und das künstlich zugeführte Wasser im natürlichen Lebensprozeß binden und speichern.

Die Rückgewinnung der Wüste muß von den Wüstenrändern oder Oasen ausgehen, wo sich Wasser befindet.

Für die Erstbebauung eignen sich Pflanzen, die mit ihren Wurzeln in große Tiefen zu dringen vermögen. Es sind meistens salzliebende Gräser der Halbwüste, denen es nicht schadet, wenn der oberirdische Teil von hartem, rein mineralischem Staub verschüttet wird. Selber sind sie sehr resistent gegenüber einer organischen Aufschließung. Sie zerfallen in Staub, der mit dem Tau in die oberste Bodenschicht gelangt. Von den Wüstenrändern aus schieben sich Zonen mit geschlossenen Pflanzenformationen in die Wüste hinein. Diese Formationen entsprechen verschiedenen Phasen der Bodenneubelebung, die zeitlich und räumlich oft ineinander übergreifen.

Die Wüstenpflanzen sind Sammler des Luftedaphons. Kakteen, Opuntien, Dattelpalmen, Eiskräuter (*Mesembryanthemum*), Sandgräser, Agaven, Aloe, Grasbäume, Wolfsmilchgewächse und die verschiedenen Sedumarten sind so ausgestattet, daß sich in ihren Haaren und Stacheln, auf ihren rauen, oft klebrigen Lederhäuten, in ihren drüsigen Auswüchsen, Rillen, Borken, den samtartigen Nestern, aus denen bündelweise die feinen, mit Widerhaken versehenen Glochien sprießen und in den vielen Gruben und Grübchen ihrer Oberfläche das Luftedaphon fängt und hängen bleibt. Dieses encystierte Leben wird durch den starken Morgentau kurz vor Sonnenaufgang hinabgeschwemmt in die oberste Bodenzone, die auf diese Art etwas Feuchtigkeit erhält. Zwischen den flachen Wurzeln und den Wurzelhaaren entwickelt sich daraus ein artenarmes, rein lithobiontisches Bodenleben. Der ganze Wurzelstock wird bald mit Zooglooen bewachsen, die manchmal wie feste Röhren die Wurzelstränge umgeben. Hebt man eine Pflanze samt den Wurzeln vorsichtig heraus, so findet man unter ihr und um sie herum im Sand oder zwischen Steine eingebettet, feuchten Humus, der zwar noch hochmineralisch ist, aber

reich besiedelt von Organismen und schon durchsetzt von feinstgekrümelter organischer Substanz. Die üblichen Wurzelauausscheidungen erleichtern den Mikroben das Dasein.

Wenn die jährliche Niederschlagsmenge unter 500 mm liegt, eine künstliche Bewässerung unmöglich ist, und wenn unter steter Windeinwirkung Flug-sandinseln dauernd wandern, können sich für den Anfang nur derartige Wüstenpflanzen halten.

Auf sehr salzhaltigen Wüstenböden, wie z. B. das Gebiet um die Bitterseen in der großen australischen Sandwüste, oder auf den Salzwüsten um die zahlreichen Djerids und Schotts im Südatlas, kann Haifa- oder Espartogras (*Macrochloa tenacissima*) als Erstlingspflanze angebaut werden. Das Haifagras ist einer der Hauptausfuhrartikel von Tunesien. Es wird ein ausgezeichnetes Zigarettenpapier daraus hergestellt und es liefert den Einsteckhalm für die Virginiazigarre. Die Kultur des Haifagrases geht in die Antike zurück. Die Rendite, welche ein Haifafeld ergibt, ist unerwartet günstig. Dabei handelt es sich nur um eine einmalige Anpflanzung. Es entstehen weder Kosten für Bodenbearbeitung noch für Bewässerung. Die einzige Arbeit ist das Schneiden und der Abtransport.

Bei den zur Erschließung der Wüste angebauten „Pionierpflanzen“ handelt es sich um solche, die sich den Umweltsbedingungen anpassen können, den Wüstenboden langsam mit organischer Substanz bereichern, so daß anspruchsvollere Pflanzen nachfolgen können. Nach einem Zeitraum von 10 und 50 Jahren kann sich wieder bebauungsfähiger Boden gebildet haben, der sich dann durch regelmäßige, aus den landwirtschaftlichen Abfällen gewonnene Humusgaben erhalten und verbessern läßt.

Haifagras oder auch die stachellose Opuntie, auf welche man in australischen Wüstenbezirken eine erfolgreiche Rinderzucht fundierte, die vielen Spielarten der *Agava americana*, auch die mannigfachen *Cereus*arten sind sowohl zu ersten Kulturen, als auch als erste Windriegel zu gebrauchen. Dazwischen pflanzt man die widerstandsfähige *Baumyucca*, auch *Mimosenbüsche*, oder den schon erwähnten *Mezquitebaum*. Auch der immergrüne und im vollsten Sinn des Wortes unverwüstliche, aus Peru stammende Pfefferbaum (*Schinus molle*) gedeiht in einem ausgesprochenen Trockenklima. In diesen Gewächsen nisten Wüstenvögel und allerhand Insekten, von denen sich die Wüstenreptilien ernähren.

Es sind so ungefähr dieselben Baumarten, die man überall als Windriegel verwenden kann. Die genannten Pflanzenarten vertragen sich untereinander gut und bilden eine Art „Windbrecherformation“, die von vorneherein so angelegt werden muß, daß sie stehenbleiben kann, wenn die sekundären Kulturen fortgeschritten sind. Windriegel braucht man immer.

Für den zähen Kampf ums Dasein sind alle Wüstenpflanzen ausgestattet mit Harzen, Gummi, Wachsen, Farbstoffen usw. Die *Agave* liefert Fasern, den „*Agua miel*“, einen süßen Saft, aus dem die Pflanze die Blüte aufbaut,

die eine sehr geschätzte Bienenweide ist. Allein um dieser Rohstoffe willen wäre es lohnend, eine Wüstenlandwirtschaft aufzubauen. Diese einheimische Wüstenflora gedeiht bei dem gewohnten Klima auf dem sonst nicht nutzbaren Boden ohne Schwierigkeit. So könnte sich die globale Landwirtschaft Enttäuschungen, Verluste und Sorgen ersparen, wenn sie die boden- und klima-gegebenen Möglichkeiten auch auf scheinbar ganz unergiebigem Böden berücksichtigen würde.

VII. ERNEUERUNG DER LANDWIRTSCHAFT NACH DEN LEBENSGESETZEN DES BODENS

Die alten Kulturvölker verehrten Flur-, Erd- und Erntegötter. Auch heute werden Erntedankfeste gefeiert, die oft uralte Wurzeln haben.

Um so verwunderlicher ist es, daß es bis heute in keinem Staate Bodengesetze gibt, die über eine Verteilung des Bodens hinausgekommen wären.

Da aber Erosion, Wassermangel, Klimaverschlechterung, Absinken der kontinentalen Grundwasserreserven und allgemeiner Humusschwund weitgehend die Folgen der Methoden der heutigen Landwirtschaft sind, ist eine andere Einstellung der Landwirtschaft zum Boden notwendig.

Die Erhaltung des Bodens und seine Pflege muß im Vordergrund des landwirtschaftlichen Denkens stehen.

Denn die Widerstandskraft der Pflanzen wird sonst vermindert. Sie vermögen ihre angezüchteten Eigenschaften nicht mehr zu entfalten, wenn der Humus des Standortes sich mehr und mehr verringert. So kann bei der Zuckerrübe der Saccharosegehalt wesentlich absinken. Viele Gewächse, vor allem Blumen, entwickeln sich scheinbar ohne Ursache zurück. Der Humusschwund hat auch eine erhöhte Anfälligkeit der Kulturpflanzen gegenüber Parasiten zur Folge. So wurden die in Europa einheimischen Reben durch die Reblaus im vorigen Jahrhundert fast gänzlich vernichtet. Deshalb pflanzte man amerikanische Weinreben, die in ihrer Heimat ursprünglich in den Wäldern schon lange vor Columbus wild wuchsen. Diese erwiesen sich in Europa fast 100 Jahre lang als reblausfest. Sie vertrugen die Aufpfropfung der europäischen Edelsorten ausgezeichnet und man glaubte schon, des Übels Herr geworden zu sein. Aber seit den letzten Jahren gibt es am Rhein neue Reblausinseln. Die Vernichtung der hochgezüchteten neuen Sorten macht trotz Schädlingsbekämpfung weitere Fortschritte.

Der Landwirt muß alles tun, um der Pflanze vom Boden her optimale Lebensvoraussetzungen zu bieten. Als Lohn wird er widerstandsfähige und gesunde Pflanzen erhalten. Nur ein gesunder Boden vermag gesunde Pflanzen hervorzubringen. Ein gesunder Boden aber verlangt Rücksichtnahme auf seine Lebensgesetze.

Eigentlicher Sinn der verschiedensten Düngemittel und Bodenbearbeitungsmaschinen ist, daß sie die rein biologischen Abläufe des Bodens, in die sie eingreifen, unterstützen und positiv beeinflussen sollen. Leider aber wird ihre Anwendung meist nur diktiert von dem Streben nach Arbeitsverminderung, betriebstechnischer Rationalisierung, Erntesteigerung usw. So kommt es, daß sehr oft gegen die Lebensgesetze des Bodens verstoßen wird. Schwere Traktoren zerstören und erdrücken durch ihr Gewicht die Lebenszonen des Bodens und unterbinden die Bodenlüftung durch die Einstampfung der Kapillaren. Es braucht dann oft lange Zeit, bis die Feinkrümelung durch Organismen

wieder einigermaßen hergestellt ist. Die Bodenbearbeitungsgeräte sind nicht immer, biologisch betrachtet, als zulänglich zu bezeichnen. So kann der tiefgehende Pflug, der meist falsch angewendet wird, großen Schaden bringen. Es sind also Geräte notwendig, die sorgsam die biologischen Bodenzonen schonen, welche die Arbeiten des Edaphons unterstützen, aber nicht zerstören.

Unter den Kleingartengeräten gibt es eine ganze Reihe, die eine biotechnisch richtige Form haben, nämlich solche, die einem Insektenfuß oder der Maulwurfskralle nachgebildet sind. Durch diese Grundformen ist eine Bodenbearbeitung gewährleistet, die dem Bedürfnis der Mikroben entgegenkommt.

Auch Scheibeneggen und ähnliche Geräte, welche die Bodenoberfläche nur lockern, anstatt sie umzustürzen, sind vorteilhaft. Alles, was ein „Tiefpflügen“ verursacht, ist unvorteilhaft, denn es holt die lebensleeren mineralischen Zonen des Bodens herauf. Wenn die lebende Zone einen halben Meter tief hinuntergeschaufelt wird, so ist dies für diese ebenso schädlich, als wenn die mehr oder weniger anaerobe, fast nur aus Bakterien bestehende Tiefenbiozönose, der Sonnenlicht und Oberflächenluft sehr unbekömmlich ist, plötzlich nach oben kommt. Die Technik der Bodenbearbeitung muß dies berücksichtigen und die Lebensbedingungen der Mikroben in den einzelnen Bodenschichten schützen und bessern.

Die erste Bodenfräse wurde von dem Schweizer Karl von Meyenburg nach dem Vorbild der Maulwurfsklaue konstruiert. Sie wird von einem Motor angetrieben, sie scharft und kratzt Bodenfurchen und hinterläßt sehr fein gekrümelte Erde. Die Bodenfräse wurde späterhin verbessert und vor allem mit stabilen Scharrbeinen, die seitlich ausgreifend arbeiten, ausgestattet, damit sie auch den Widerstand zäher und verbackener Bodenschichten überwinden können. Für größere Flächen ist die Bodenfräse zu klein. Deshalb konstruierte man ein geeignetes Gerät dieser Art in Verbindung mit einem Leichttraktor. Dagegen ist sie nach wie vor ausgezeichnet für den Garten, für Weinberge (falls sie nicht zu steil angelegt sind), für Samen-, Obst- und Spezialplantagen, die auf verhältnismäßig engem Raum hochwertige Kulturen tragen. Sie wurde so z. B. für Erdbeer- und Frühgemüseplantagen und Heilpflanzenplantagen angewendet.

Sehr nachteilig für das Bodenleben ist das Liegenlassen der von Pflanzen entblößten und der nach der Ernte aufgeflogten Äcker.

In der Natur gibt es keinen von Pflanzen entblößten Boden. Ein Boden ohne Pflanzen ist eine Wüste. Wenn man einen Boden geraume Zeit ohne die natürliche Pflanzendecke liegenläßt, verwandelt man ihn gewissermaßen in eine „Wüste“. Wind- und Wassererosion wirken sich bald an ihm aus, wie an einem nackten Wüstenboden. Auch wenn kein Wüstenklima vorliegt, öffnet man auf diese Weise der Erosion Tür und Tor.

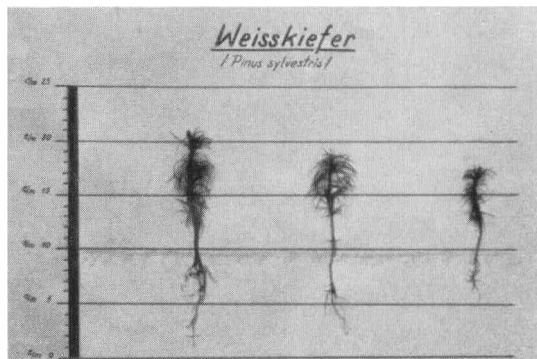
In den gemäßigten Zonen gilt das „Ausfrieren“ des Bodens für nötig und nützlich. Aber wäre es nicht besser, über Winter den Boden unter einer

Gleichalte Tabakpflanzen,
 links
 auf gewöhnlicher Erde,
 rechts
 auf derselben Erde,
 unter Zusatz von
 10% EDAPHON-Humus



TAFEL X

Sämlinge
 von Weißkiefern,
 linke Pflanze
 unter Zusatz von
 EDAPHON-Humus
 auf humusarmem Boden
 gezogen,
 die beiden Pflanzen
 rechts ohne Beimischung



Mit EDAPHON-Humus
behandelte
Zuckerrohr-Pflanzen.
Man beachte
die Bestockung.
(Rancho Margarita,
Cordoba)



TAFEL XI



Zuckerrohr-Pflanzen
ohne EDAPHON-
Humusgaben.
(Rancho Margarita,
Cordoba)

schützenden Pflanzendecke ruhen zu lassen? Denn die durch Frost zermürbten Schollen sind zwar mechanisch zerkleinert, aber nur vorübergehend, und schon die ersten Frühjahrsregen stellen den früheren Zustand der Verklebung wieder her. Die im Trockenzustand abgewehrten Zoogloen sind aber unwiederbringlich verloren.

Erst nach Rückgang des Bodenfrostes setzt das edaphische Leben wieder ein, das in den Frühjahrsmonaten sein erstes Maximum erreicht. Das zweite fällt in die Zeit der ersten Herbstregen und dauert meist bis November. Dazwischen verändern rasche Austrocknung oder Durchfrierung des Bodens sehr ungünstig die Lebensbedingungen vor allem der thermophilen, also der anaeroben und fakultativ anaeroben Zelluloseverrotter und beeinträchtigen ihre Leistungsfähigkeit.

Der Landwirt, der die Kraft seines Bodens erhalten und ihn vor Schäden bewahren will, wird also nicht nach der Ernte, sondern vor der (Sommer-) Aussaat pflügen und den Winter über die schützende Unkrautdecke belassen.

In einem regenreichen Klima bewächst sich die abgeerntete Scholle innerhalb 8—14 Tagen mit „Ackerunkräutern“. Diese natürliche Bedeckung aus wilden Kamillen, Stiefmütterchen, Greiskräutern, Hahnenfuß, Kanariengras und Rispengräsern lebt auch unter dem Schnee weiter. Sie schützt den Boden vor Wind und Auswaschung. Beim ersten Aufpflügen kommt sie mit in den Boden und liefert eine, wenn auch magere Gründüngung.

Im subtropischen Trockenklima ist die natürliche Bewachsung spärlicher. Sie setzt sich aus harten Rosettenpflanzen zusammen, die das hungrige Weidevieh bis zur Wurzel frißt. Mit dem Einpflügen dieser unzureichenden spärlichen Pflanzendecke wird dem Boden kaum etwas gegeben. Günstiger ist die Aussaat wilder oder halb wilder kriechender Leguminosen, am besten kriechender kleinblütiger Kleearten. Sie ergibt eine resistente Flora, die kaum wieder zu vertreiben ist. Man kann sie vor der Bestellung des Feldes ohne weiteres einpflügen. Nach 14 Tagen überspinnt sie wieder den nackten Boden. Ihre kurzen, schwachen Wurzeln nützen nur die oberste Bodenzone aus, schädigen somit die Kulturpflanzen, z. B. das Getreide, nicht.

Der die Natur scharf beobachtende Mensch der Frühzeit sah, daß im angespülten Schlamm der Flüsse und Seen die urzeitlichen Kulturgewächse, z. B. Einkorn, Hirse oder Gerste besser gediehen und mehr Körner trugen. Darum pflanzte er in den indianischen Frühzeiten in Amerika und Westindien Tabak und Mais in solchen Schlammbetten. Der bengalische Bauer säte nicht nur Reis, sondern vor allem auch Jute (*Corchorus* sp.), die ihm Baumwolle und Lein seit Jahrtausenden ersetzte, in die Schlammstreifen des Gangesdeltas, welche die Monsunüberschwemmung dort zurückgelassen hatte. Auch in Afrika waren die ackerbauenden Negerstämme daran gewöhnt, sich für ihre Durrah- oder Hirsefelder der trockenliegenden Flußbette zu bedienen. Schließlich war ja auch die ganze, so ergiebige altägyptische Agrikultur aufgebaut auf eine Schlammzufuhr, welche durch die alljährlichen Nil-Über-

schwemmungen bedingt war. Die chinesische Tiefebene verdankt ihre Fruchtbarkeit der Überflutung riesiger landwirtschaftlicher Gebiete durch den Jangtsekiang und Hoangho, welche immer wieder Schlammmassen heranbringen. Alles was von den großen Flüssen Europas in deren Deltas liegenbleibt, geht dem Land verloren. Vor ungefähr 20 Jahren wurde mir der Plan vorgelegt, das Überschwemmungsgut, das dem Ober- und Mittellauf des Stromes entstammt, zu nutzen und das Donaudelta systematisch zu kultivieren. Der zweite Weltkrieg durchkreuzte diesen Plan.

In manchen Gebieten der Erde gibt es noch genug unregulierte Ströme, die unzählige Tonnen bodenbefeuchtenden Schlammes ins Meer spülen, ohne daß man daran denkt, ihn für einen kurzfristigen Sommeranbau während der regenarmen Zeit zu verwenden.

Gerade dieser an oligosaprophyten Mikroben reiche Schlammdebris ist aber hervorragend geeignet zum Anbau von Tabak, Zuckerrohr und Mais. Man muß nur darauf achten, daß die Zeit zwischen zwei Überschwemmungsperioden richtig eingeteilt wird. Mexiko z. B. hat an seiner Pazifik- und Atlantikküste ein noch gar nicht ausgenütztes Gebiet, in welchem „Schlammkulturen“ angelegt werden könnten, die kurzfristigen Anbau von Tabak und Bananen ermöglichen. Es wäre dies eine Entlastung für die seit Jahrhunderten bebauten Gebiete.

VIII. ERNTESTEIGERUNG UND BODENSCHUTZ

In Arbeitsgemeinschaft mit der Natur

Die Chinesen erreichen in ihrer bewundernswerten Landwirtschaft beides dadurch, daß sie Weizen und Hirse wie Gartenpflanzen 2-3mal umpflanzen (pikieren). Die natürliche Bestockung wird dadurch stärker entwickelt. Bisweilen finden sich bis zu 70 Halme aus einem Saatkorn. Eine solche Mehrarbeit kann allerdings nur dort geleistet werden, wo billige Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.

Mit der Mehrbestockung ist zugleich eine nützliche Bodenbedeckung verbunden, die gerade für die leichten, lockeren chinesischen Lößböden von größter Wichtigkeit ist. Allerdings sind die Lößböden Chinas so fruchtbar, daß sie auch von den ertragreichsten Getreidesorten in absehbarer Zeit nicht erschöpft werden können.

Bei verschiedenen Sippen in Mittel- und Südamerika wird heute noch der Maisbau mittels des Grabstockes betrieben.

Beim Grabstockbau stochert man mit einem mannsfingerdicken Stock ein Loch in den naturbewachsenen Boden und senkt ein oder zwei Maiskörner in eine Tiefe von etwa 10—15 cm. Dann stochert man das Loch wieder zu. Die Entfernung der meist unregelmäßigen und nur selten in Reihen angelegten Löcher beträgt durchschnittlich einen halben bis einen Meter.

Ich konnte mich an den seit Jahrhunderten auf diese Art bebauten Humusböden von Xochimilco, nahe der Hauptstadt Mexikos, überzeugen, daß sich die einzelne Maispflanze dadurch bedeutend besser entwickelt. Das erklärt sich dadurch, daß der Boden nicht von seiner natürlichen Pflanzendecke entblößt wird und durch sie Erosionsschutz genießt. Dazu kommt noch, daß durch den Grabstockbau die natürlichen Biozönosen des Bodens nicht gestört werden.

Selbstverständlich kann unsere Landwirtschaft nicht auf die unwirtschaftliche Methode des Grabstockbaues zurückgreifen. Aber sie kann dort angewandt werden, wo erschöpfte und ausgewaschene Böden wieder der Landwirtschaft dienstbar gemacht werden sollen. Es ist in solchen Fällen zu empfehlen, die Samenkörner von Mais, Bohnen oder Sonnenblumen mit Petrofil zu umkleiden und sie damit in die Erde zu versenken. Die Petrofilmasse bringt die notwendigen mineralaufschließenden Lithobionten in den Boden. Ein verarmter Boden kann nicht gleich voll bestellt werden. Er braucht, mehr noch als ein guter Boden, seine natürliche Bedeckung, die als „Hungerpflanzengemeinschaft“ daran gewöhnt ist, mit einem Minimum von Nahrung und Wasser auszukommen. Sie bildet aber eine verhältnismäßig große Menge organischer Substanz, die ihrerseits imstande ist, den Boden anzureichern.

Im Bewußtsein der großen Verantwortung der Landwirtschaft gegenüber dem Boden und der fruchtbaren Erde für die Zukunft, muß der Landwirt seine Aufmerksamkeit auf folgende Punkte konzentrieren, die hier in einer Art Humuskatechismus zusammengefaßt sind:

- I. Gesunderhaltung des Bodens:
 - a) Struktur,
 - b) organische Substanz,
 - c) Edaphon,
 - d) Wasserführung,
 - e) Luftzirkulation.
- II. Wiederherstellung erschöpfter Böden durch:
 - a) Humuszufuhr,
 - b) optimal ausgewählte Bebauung,
 - c) richtige, d. h. nicht schädigende Bearbeitung,
 - d) richtige Be- und Entwässerung,
 - e) Fruchtwechsel, Gründüngung, harmonische Mineralversorgung.
- III. Ständige Eigenproduktion von Humus aus:
 - a) Zelluloserückständen der Ernten,
 - b) Rückständen von Haus, Straße, Schuppen, Hausindustrien etc.,
 - c) optimale Verarbeitung aller dieser Abfälle nach einer ausgetroffenen Humifizierungsmethode,
 - d) Heranziehung von Stadtabfällen zur Humusbereitung.
- IV. Richtige edaphologische Humusherstellung durch Vermeidung von:
 - a) ungenügend verrotteten Faulstoffen und Faulorganismen aus Gruben,
 - b) Zufuhr von Mineralsalzen während einer ungeeigneten Phase des Verrottungsprozesses,
 - c) falschen und unausgetroffenen Kompostierungsmethoden.
- V. Anwendung des gewonnenen Humus gemäß der Überlegung:
 - a) jede Ernte kostet Humus,
 - b) falsche Bodenbehandlung zerstört stets Humus und natürliche Humusbildung,
 - c) Humus kann nur durch Humus ersetzt werden.
- VI. Regelmäßiger Ersatz der durch Ernten oder Beweidung dem Boden entnommenen organischen Substanz:
 - a) durch jährliche Mindestversorgung der Felder mit 3—10 t Humus pro ha,
 - b) durch 2—3 cm hohe Humusüberschichtung auf dem jeweils abgeernteten Gartenbeet oder um Obstbäume, Weinstöcke etc.
- VII. Vermeidung von Bodenschädigungen durch:
 - a) Bearbeitung mit ungeeigneten Werkzeugen,
 - b) Aushagerung durch mangelhaften Oberflächenschutz,
 - c) Monokulturen,

- d) übermäßige oder unausgeglichene Anwendung von Mineralsalzen, Faulschlamm, Kanalwasser, Stallmist etc.
- e) gedankenloses Abbrennen, falsche und übertriebene Anwendung von giftigen Pflanzenschutzmitteln, sei es durch Spritzen oder Begasen.

Wenn ein Landwirt diese Richtlinien ständig beachtet, dann ist es ausgeschlossen, daß sich seine Böden verschlechtern, geringere Erträge liefern oder die Qualität seiner Ernten ständig absinkt. Stark degradierte Böden kann man durch Berücksichtigung obiger Ratschläge bereits innerhalb eines halben Jahrzehntes ertragreicher machen.

Die züchterisch bedingten Qualitäten der Kulturpflanzen und Zuchttiere können sich erst auf der Grundlage eines gesunden Bodens voll entfalten.

Bodenschutz

Durch Unkrautbekämpfung wird allgemein eine Erntesteigerung erzielt. Aber dabei entsteht durch die Ausrottung der ursprünglichen Biozönose auch Schaden, da nämlich die Gare des Bodens durch geringere Beschattung gemindert wird. Zudem ist der Kampf gegen die seit jeher eingebürgerten „Unkräuter“ ein sehr hartnäckiger. Vor allem leidet aber die Bodenlebewelt.

Durch übertriebene und unüberlegte Anwendung von Spritzmitteln und Giftbestäubungen rottete man zwar das „Unkraut“ samt der Rainflora aus, nahm aber damit den Bienen einen großen Teil ihrer Weide. So verhungerten z. B. in Dänemark, wo man zuerst größere Versuche machte, mehr als ein Drittel der Bienenvölker. Auch werden Tiere, die sich von den vergifteten Pflanzen ernähren, geschädigt.

Die so oft beobachtete Umstellung in der Unkrautflora wird durch Faulzustände der Erde hervorgerufen, die durch Abwasser, Abwasserschlamm, Jauche und frische Stallmistdüngung entstehen. Nur die Ruderalflora paßt sich an diese Verhältnisse an, denn sie ist auf Fäulnis eingestellt. Sie entwickelt lange, zähe, oft nestartige Wurzeln, welche rücksichtslos die Wurzeln unserer Kulturpflanzen verdrängen.

Die Auswirkungen einer „Faulstoffdüngung“ reichen aber noch viel weiter. Unser Stallvieh liebt keineswegs die Ruderalflora und die schlecht riechenden Gräser einer derartig gedüngten Wiese, welche selbstverständlich auch die Qualität der Milch beeinflussen. Warum treibt man denn sommersüber in den Alpen das Vieh auf die Alm? Doch nur darum, weil die in gesundem Boden wurzelnden Alpenpflanzen den Milchertrag steigern, ohne daß durch die Mehrleistung die Tiere überfordert werden. Dort aber, wo nur „gegüllt“ wird, ist der Vorteil der Almwirtschaft stark eingeschränkt. Da werden die schönen, den Tieren bekömmlichen Bergkräuter durch Umbelliferen etc. verdrängt. Früher gab es auf den Almen keine tuberkulösen Kühe, während heute auch dort schon die Seuche auftritt. Diese Tatsache ist mit der Güllewirtschaft in

Zusammenhang zu bringen. Der Erreger der Rindertuberkulose vermag seine Virulenz bis zu einem Jahr zu bewahren, wenn er mit Mist und Jauche auf das Feld kommt. Solange man sich nicht dazu entschließen kann, alle anfallenden Stallmistmengen zu humifizieren, wird dauernd die Gefahr einer Neuinfektion der Weidetiere gegeben sein. Dasselbe gilt für den Erreger der Brucellose.

Auch die Wurmseuchen gehen von Parasiteneiern aus, die sich massenhaft in Abwässern, Kloakenschlamm, Jauche, Müll und Mist finden. Viele von ihnen sind auf eine Nachentwicklung in faulem Eiweiß angewiesen. In einem „gegüllten“ Boden bleiben sie infolgedessen erhalten und setzen die Kette der Infektionen fort. Ich habe Abwässer untersucht, die im Bruchteil eines Tropfens Hunderte von fertilen Eiern von Bandwürmern enthielten. In allen Kontinenten treten Wurmseuchen auf, die das Ausmaß von Epidemien erlangen können. Wenn man weiß, welche schrecklichen Komplikationen es gibt, wenn Knäuel von Spulwürmern (*Ascaris lumbricoides*) in die Gallenblase, ja selbst in den Herzbeutel eindringen und Kinder und Erwachsene an Verwurmung sterben, so muß man sich fragen, wieso es heute noch möglich ist, daß man solche Übel nicht an der Wurzel faßt und immer noch den Salat mit Jauche oder Abwasser düngt. Der Humus, der bei seiner Herstellung die Phase der Verrottung durchlaufen hat, enthält keine solchen Erreger. Sie können in ihm nicht existieren. Ihre Fortpflanzungskraft nimmt ab und damit auch die Ansteckungsgefahr. Es ist der Prozeß der natürlichen Ausmerzung.

Die Natur sorgt mit der ihr eigenen Gesetzmäßigkeit für einen Ausgleich, wenn der Mensch nicht störend eingreift.

Wo z. B. die Vögel geschützt und gehegt werden, gibt es kaum Raupen noch andere Insektenplagen. Gewiß nehmen sie sich einen Teil der reifenden Früchte, aber der dadurch angerichtete Schaden ist unvergleichlich geringer, als der, den die Insekten verursachen würden, die sie vertilgen. Dazu ersparen die Vögel dem Besitzer die Mühe der Parasitenbekämpfung.

Wenn die Pflanze im humusreichen Boden richtig ernährt ist, besitzt sie hinreichende Abwehrkräfte gegen Bakterien und Pilzparasiten. Erkrankt sie trotzdem an einer Infektion, so vermag sie wieder zu gesunden und den Wachstumsverlust auszugleichen. Wenn aber plötzlich starker Parasitenbefall auftritt, muß der Landwirt rasch wirkende Mittel anwenden. Diese sollen für die Umwelt möglichst ungefährlich sein. Ein altbewährtes Mittel gegen Insekten ist Tabakbrühe. Der wirksame Bestandteil, das Nikotin, schädigt weder die Pflanze noch das Edaphon. Gegen Pilzbefall, der besonders dann auftritt, wenn die Böden infolge Entartung versäuern, hilft am besten die bekannte Bordelaiser Brühe, eine Kupfer-Kalk-Mischung, die in verschiedenen Stärken angewandt werden kann. Kalk wird von Bodenpilzen schlecht vertragen. Bei der Kombination mit Vitriol bildet sich eine hauchdünne Schicht auf den besprühten Blättern und den unreifen Früchten. Das Mittel wird seit mehr als 100 Jahren angewandt im Weinberg, in Zitronen-Pflanzun-

gen und im Obstbau. Da es stark giftig ist, darf es nicht auf reife Früchte gespritzt werden, denn es läßt sich nur schwer wieder abwaschen.

Für den Boden, das Edaphon und für die Kulturen ist die Bordelaiser Brühe unschädlich. Auch Bienen vertragen sie relativ gut. Der Regenwurm leidet kaum darunter. Dagegen bekommt sie den Schildläusen, die sehr häufig Citrusplantagen befallen, ausgesprochen schlecht, denn sie hindert sie an der Atmung.

Auf parasitische Käfer wirkt ein sonst unschädliches Insektenpulver, das aus den feinpulverisierten Blütenköpfen einer kleinen wilden Chrysantheme (Pyrethrum) gewonnen wird. Die Wirkung beruht z. T. auf einer Verstopfung der Tracheen bei gleichzeitiger Lähmung der inneren Atmungsorgane.

Die stark wirksamen synthetischen Insektizide büßen im Laufe der Zeit an Wirksamkeit ein auf Grund einer früher nicht für möglich gehaltenen hohen Anpassungsfähigkeit des tierischen Protoplasmas.

So wurde z. B. in ausgedehnten Apfelorchards in den Staaten DDT sehr ausgiebig angewendet, weil man sich davon die Vertilgung der überaus schädlichen Apfelmotten erhoffte. Nach einiger Zeit beobachtete man indes, daß die Apfelmotten gegen die Giftbesprühung resistent wurden.

Auch ein anderer Parasit, der an jungen Bäumen die sog. „Austernschalen-Schuppenkrankheit“ hervorruft, blieb durchaus unbehelligt. Dagegen starben in Massen ihre wichtigsten Verfolger, eine Kalkwespe. Befreit von deren Angriffen und unempfindlich gegen die Insektizide, konnten sich die Apfelmotten sozusagen unbegrenzt vermehren.

Kühe, die Gras fressen, über das der Wind arsenhaltige Bestäubungsmittel geweht hatte, gehen oft schon nach Stunden ein. Der University of Texas meldete man vor kurzem ein rätselhaftes „Disease“, das 3000 Kälber gleichzeitig ergriffen hatte. Die angegliederte Veterinärstation untersuchte den Fall und stellte fest, daß auf der Weide chlorhaltige Naphtaline, auf welche verschiedene Schädlingsmittel und ölige Insektizide aufgebaut waren, die „rätselhafte“ Krankheit hervorgerufen hatten. Sämtliche Tiere starben nach mehreren Wochen daran. Die Haut hatte sich in eine hornige, alligatorähnliche Borke verwandelt, die am lebenden Körper vertrocknete.

Die zerstäubten, versprühten, in Tropfen gummiartig auf den Kulturen klebenden Gifte schädigen das Bodenleben auf das Schwerste. Vor allem aber lagern sich die Giftnebel auf der Bodenoberfläche ab, wo die wichtigsten Gruppen des Edaphons, die assimilierenden Algen, die Bildner von Kolloiden, die Krümelbildner der Kapillaren siedeln. Alle diese oligosaprophyten Biozönosen werden zerstört. Gerade die oberste am meisten belebte Zone leidet besonders. Regelmäßiges Versprühen oder Vergasen von stark wirksamen Mitteln wirkt sich nachteilig aus auf die Bodengare. An die Stelle der Gareorganismen treten andere resistente Organismen (mit Vorliebe Schwefelbakterien, Arsenikabbauer usw.), die nicht an der Humusbildung beteiligt sind.

Ich habe Böden, die man gegen Engerlinge mit einem Chlor-Arsenpräparat injiziert hatte, ein paar Tage später untersucht und konnte nicht eine einzige tote Käferlarve feststellen. Meine Untersuchung ergab jedoch, daß alle tätigen Lebensgruppen des Edaphons restlos vernichtet worden waren. Es fand sich zwar tiefer noch ein Minimum von Bakterien, aber keine Regenwürmer und keine edaphische Kleinf fauna der Bodenoberfläche mehr.

Der Kampf gegen die „Fruit fly“ war, als ich zum erstenmal die Südstaaten bereiste, im vollen Gange. Sogar die Grenzkontrolle war darauf abgestimmt. Anstatt auf Pässe, wurde man auf mitgebrachtes Obst untersucht, das überall verbrannt wurde. Ob auch die lebenden „Fruit fly“ die Grenze respektierten und nicht von einem Staat in den anderen hinüberflogen?

Vor ca. 14 Jahren begann man gegen die „Oriental Fruit Moth“ vorzugehen. Solche Kleinschmetterlinge sind besonders gefährlich, weil sie derart massenhaft auftreten, daß ihre Raupen alles verwüsten. Man ging in der Bekämpfung einen neuen Weg und er führte zu 100prozentigem Erfolg.

Der Parasit war zuerst in einer Pfirsichplantage in Südkalifornien entdeckt worden. Man rechnete sich aus, daß der Schaden, den er anrichtete, zwischen 50 und 100% des Erntewertes schwankte. Man beobachtete nun sein Leben und fand bald heraus, daß er einen natürlichen Feind besaß in der „Ichneumon Fly“, einer Schlupfwespe, die ihre Eier ausschließlich in die verschiedensten Insektenlarven und Raupen ablegte. Die winzigen Larven leben vom Fettkörper ihres Wirtes, der sich infolgedessen weder verpuppen, noch in seine Flugform verwandeln kann. Er wird dadurch von einer Generation zur anderen dezimiert.

Man züchtete also Schlupfwespen. Bereits um 1946 konnten von den beauftragten Instituten 23 Millionen Ichneumoniden an 14 verschiedene Staaten der USA geliefert werden. Man setzte sie in den Obstplantagen ein. Die Motte, welche 30 Jahre lang überall in den Südstaaten, in Kalifornien und im floridanischen „Orange belt“ trotz aller Gegenmittel, Stamm, Zweige und Blätter sämtlicher Citrusarten zerstört hatte, konnte durch die Schlupfwespen mühelos ausgerottet werden, nachdem man schon ernstlich daran gedacht hatte, die Citruskulturen aufzugeben.

Die Kleinwespe ihrerseits ist kein Schädling, da sie ausschließlich von den Larven der Feinde lebt. Die Unkosten für eine Wespenzucht sind unbedeutend.

Die Heuschreckenschwärme richten in gewissen Gebieten großen Schaden an. Aber die toten Tiere, die oft ein viertel Meter hoch den Boden bedecken, liefern wertvollen Dünger, der sich in kurzer Zeit aufschließt und der neuen Saat zugute kommt.

Auf dem Lande treibt man, sobald der Schwärm abgezogen ist, Hühner und Schweine zur Vertilgung der Larven, Eipakete und flugunfähigen Jugendformen auf die Felder. Jedem Schwärm folgt eine Wolke von Vögeln, Störchen, Eulen und seltenen Raubvögeln. Mit unstillbarem Appetit leben

sie wochen- und monatelang nur von Heuschrecken. Wenn nicht gestäubt wird, stürzt sich ein Heer von Vertilgern auf die Junglarven. Während die neugesäten Felder sich begrünen, erholt sich der Boden, verarbeitet die toten Tiere als Dünger und die nächste Ernte fällt oft so gut aus, daß der Schaden wenigstens zum Teil ausgeglichen wird.

Jetzt aber stäubt man aus Flugzeugen heraus Unmengen pulverisierter Gifte auf die Heuschreckenschwärme. Daran gehen nicht nur die Heuschrecken, sondern auch ihre natürlichen Feinde zugrunde. Die Erde wird so vergiftet, daß alles, was auf ihr zurückbleibt, ungenießbar wird. Nur die Heuschreckeneier überleben schlupffähig den Massentod. Das gestäubte Gift wird vom Regen ins Grundwasser gewaschen. Die Zerstörung des Edaphons ist dann die letzte Bilanz der Auswirkung dieser technischen Hilfsmittel, deren Anwendung nur sehr bedingt wirkliche Hilfe bedeutet.

Nach alten Erfahrungen lassen sich in Gegenden, die einen sehr reichen Vogelbestand haben, keine Heuschrecken nieder. Sie ziehen weiter oder erheben sich höher in die Atmosphäre, als ob sie die Gefahr ahnten.

Der Mensch hat über die Landwirtschaft den natürlichen Pflanzen- und Tierbestand der Erde durch Domestizierung und Züchtung im Laufe der Zeit tiefgehend verändert. Durch Eingriff des Menschen wurde das Angesicht der Erde umgestaltet, letzten Endes auf Kosten des Humuskapitals, das der Mensch sozusagen als eine Art „Lebensreserve“ übernahm, als er begann, sich die Erde Untertan zu machen.

IX. ORGANISATION DER HUMUS- WIRTSCHAFT

In die Humuswirtschaft können sowohl die Städte als auch der einzelne Betrieb einbezogen werden nach dem Ausmaß der Bedürfnisse und der anfallenden Rohstoffe. Anwendungstechnik, Arbeitsaufwand und Erfolge der Humusherstellung sind bereits ausprobiert.

Allmählich tauchen auch schon Bodenschutzgesetze oder wenigstens eine Art Vorläufer auf. Ich bekam verschiedene solcher Entwürfe in die Hand. Einer der umfassendsten, die ich kennengelernt habe, stammte von Dr. Josef FREI, dem Syndikus der Landwirtschaftskammer Linz, Österreich. Man ist sich heute im klaren, daß der Raubbau am Boden nicht wie bisher weiter betrieben werden darf. Im Jahre 1939 fielen in einem Kongreßkomitee in USA folgende Worte:

„In dem kurzen Leben dieses Landes haben wir 282 Millionen acres Anbau- und Weideland im wesentlichen zerstört. Dazu wirkte sich die Erosion verheerend auf weitere 775 Millionen acres aus. Rund 1000 Millionen acres anbaufähigen Bodens, die das beste Getreideland repräsentieren, sind durch uns in USA praktisch erledigt worden. Wir können sie nicht wiederherstellen. Infolge von Erosion verlieren wir außerdem täglich den Gegenwert von 200 Farmen zu je 40 acres.“

Europa führt, nach einer weit über 1000jährigen Periode der Waldrodung, seit fast 200 Jahren einen zähen Kampf um seine Fruchtbarkeit.

In Vorderasien liegen heute noch die Wüsten, welche die Vorantike und Antike aus den einst reichsten Böden der damaligen Kulturwelt gemacht haben. Dasselbe gilt für Nordafrika. Aber auch der Sudan und Kongo werden von einer rasch zunehmenden Erosion heimgesucht. Noch schlimmer steht es mit den süd- und mittelamerikanischen Staaten, deren einst unermeßlicher Humusschatz beängstigend rasch dahinschwindet.

Mittlerweile hat sich die frühere politische und weltwirtschaftliche Situation geändert. Das Zeitalter der Kolonialreiche ist vorüber und bis in die ehemals entlegendsten Gebiete der Erde dringt die Industrialisierung vor.

Die Frage nach der Notwendigkeit einer Organisation der Humuserneuerung muß von der Weltwirtschaft positiv beantwortet werden.

Im Humus begegnen sich die Kreisläufe des Organischen und des Anorganischen. Humus steht im Brennpunkt erdgeschichtlicher Abläufe, sowie der Lebensabläufe von Pflanze und Tier. Die Passage über den Humus ermöglicht es, daß nach Abbau wieder Aufbau erfolgt und daß der Kreislauf in der Natur sein biologisches Gleichgewicht bewahrt.

Ohne die Humusbildung ginge alles in einem Chaos unter. So müssen wir im Humus mehr sehen, als den Garanten für Bodenfruchtbarkeit und für die Ernährung der annähernd 3 Milliarden gegenwärtigen Menschen samt den

ungezählten Millionen zahmer und wilder Tiere, die direkt oder indirekt von der Pflanzenwelt leben. Der Humusbestand formt das Antlitz der Erde.

Lehnen wir, wie so lange Zeit, die Verantwortung gegenüber dem Problem Humus ab, so werden die uns folgenden Generationen die Konsequenzen — und diese Konsequenzen können naturgemäß nicht gut sein — zu tragen haben.

Andernfalls bedeutet eine einsichtsvolle Einstellung der heute Lebenden eine günstige Wendung für die Zukunft, ehe es zu spät ist.

Das ist eine Mahnung, die alle angeht, da ja schließlich ohne Humus niemand existieren kann. Aber immerhin! Wenn dieses Buch ein Wegweiser sein möchte, so fußt dieser Wegweiser doch auf unbestreitbaren und positiven Tatsachen. Nicht das „Wenn“ und „Aber“ mehr oder weniger gelungener Versuche kommt hier zu Wort, sondern der praktische Erfolg, der mit Zehntausenden von Tonnen von Edaphonhumus und mit Hunderttausenden von Impfziegeln bisher erzielt wurde.

ALLGEMEINE BEMERKUNGEN

Selbstverständlich ist die Wirkung des Edaphonhumus abhängig von folgenden Faktoren:

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. Humusmenge pro Hektar | 5. Art der Bebauung |
| 2. Jahreszeit der Verabreichung | 6. Bewässerung |
| 3. Klima | 7. Mineraldüngung |
| 4. Bodenart | |

Innerhalb dieser Gegebenheiten ist die Wirkung von Edaphonhumus je nach Humusbedarf der in Kultur genommenen Pflanze verschieden. Auch spielt die Güte des Saatgutes und seine Herkunft eine gewisse Rolle. Folgende Liste gibt einen Überblick.

Bananen	für jeden Steckling 1—3 kg Humus, bis die Pflanze nicht mehr trägt. Wenn sie eine Vegetationsperiode überdauert, dann im nächsten Jahr dieselbe Menge.
Bohnen	5—8 ts. Humus pro 1 ha auf einigermaßen gutem Boden, spätestens jedes 3. Jahr zu wiederholen. Mit Mais zusammenzupflanzen. Bei allen Leguminosen ist Zwischengründung vorteilhaft. Für alle Leguminosen ist Rhizobienhumus mit der entsprechenden Bakterienart zu geben.
Erdbeeren	10 ts. Humus pro 1 ha. Wenn kein Fruchtwechsel, im Herbst und Frühjahr! Bei Fruchtwechsel Kartoffel oder Rüben dazwischen pflanzen, die ihrerseits dann keinen Humus brauchen. In diesem Fall den Humus vor Aussaat der Erdbeeren geben. Sehr gut gießen.
Gemüse und Blumen	sollen vor Aussaat oder Aussaat das Beet mit leicht eingehacktem Humus ca. 2 cm hoch überschichtet bekommen. Das soll jedesmal nach dem Abernten, mindestens aber einmal im Jahr erfolgen. Man kann auch Kopfdüngung mit eingewässertem Humus ein oder mehrere Male geben, 1 kg auf 10 l Wasser.
Gerste	wie bei Hafer
Hafer	3—5 ts. Humus pro 1 ha jedes 2. Jahr zu wiederholen.
Kaffee	das Almacigo vor jeder Aussaat mit 3—5 cm Humus überschichten, der locker eingehackt wird. Für größere Jungpflanzen dasselbe einmal im Jahr. Im Cafetal soll ein Baum alle 2—3 Jahre ca. 1 kg Humus erhalten.
Kartoffel	3—5 ts. Humus pro 1 ha. So zu verteilen, daß das Pflanzloch mit der Saatkartoffel den Humus bekommt. Wenn nicht bei der Vorfrucht Humus gegeben wurde, vor neuer Aussaat wiederholen.
Klee	5—8 ts. Humus pro 1 ha. Rhizobienhumusgaben sollen jedes 2. Jahr wiederholt werden. Kann das ganze Jahr beweidet oder je nach Klima 2-3mal im Jahr geschnitten werden.

Luzerne	5-10 ts. Humus pro 1 ha muß spätestens alle 2 Jahre wiederholt werden, dann ist ein Schnitt pro Monat möglich.
Maguey	3-5 ts. Humus pro 1 ha lediglich auf die Pflanzlöcher zu verteilen. Erwachsene Pflanzen erhalten alle 3—5 Jahre je nach Größe während der Regenzeit 1-3 kg Humus am Fuß der Blätter.
Mais	3-5 ts. Humus pro 1 ha. Alle Jahre wiederholen. Auf schlechten Böden 2-3 Jahre „Bolitas“, dann erst Humus geben.
Obstbäume	sollen unter der Kronentraufe mindestens alle 2—3 Jahre im Ring 3-5 cm hoch Humus pro Baum erhalten. Der Ring wird im Rasen ausgehoben und dann wieder mit Rasen zugedeckt. Obstgärten nicht aufpflügen, sondern Gründüngung zwischen die Bäume geben.
Papaya	braucht alle Jahre pro Pflanze 1—3 kg.
Paprika	5-10 ts. Humus pro 1 ha jedes 2. Jahr.
Sorghum	3—5 ts. Humus pro 1 ha alle 2 Jahre. Auf schlechten Böden das Doppelte.
Tomaten	5-10 ts. Humus pro 1 ha, jedes 2. Jahr zu wiederholen, am besten die Reihen ohne den Zwischenraum zu versorgen.
Wein	Jede Pflanze soll jährlich 1—3 kg Humus erhalten. Langwurzelige Arten bekommen ihn zwischen den Reihen in einem gut eingegossenen Streifen, die anderen um den Stamm.
Weizen	3-5 ts. Humus pro 1 ha wirkt bis zum nächsten Jahr.
Wiese	3-5 ts. Humus pro 1 ha mit Düngerstreuer überstreuen. Alle 3 Jahre wiederholen.
Zuckerrohr	mindestens 10 ts. Humus pro 1 ha vor dem Auspflanzen der Stecklinge. Das muß jedesmal wiederholt werden.

DREITEILIGE FORMEL EINER EXAKTEN BODENANALYSE FÜR EDAPHONHUMUS

(Es handelt sich um Edaphonhumus, der in Mexiko gewonnen wurde.)

Physikalische Analyse

Feuchtigkeit	32–50%
Struktur	locker, gut durch- krümelt
Geologischer Typus	wie Urwald- boden
Calciumdominante	nein
Siliziumdominante	ja
Kapillargröße	1–3 mm

Chemische Analyse

pH	8
Nitrogen	0,40– 1 %
Phosphor	1 – 1,5%
Potassium	1,8 – 2 %
Calcium	0,2 – 3 %
Silikate	60 –65 %
Eisen	0,5 – 5 %

übliche Spurenelemente

Wasser

Kristall- und saugdruck- freies Wasser	ca. 5%
in Organismen und orga- nischer Substanz	ca. 20%
freizirkulierend	ca. 20%

Verhältnis der Makro- zu den Mikrokristallen ..

ca. 40:60

Biologische Analyse

Organische Substanz	ca. 10–25%
Zoogloeebildung	ca. 40–50%
Organismengehalt	ca. 300 Mill. pro 1 g Humus

Organismengruppen

Mikroalgen	20%
Fungi	7%
Protozoen	7%
Amoeben	15%
Nematoden	2%
Bakterien	27%
Autochthone Mikroflora ..	13%
Rotatorien	2%
Cysten und Sporen	7% = 100%

Bestimmung

polysaprob	= nein
oligosaprob	= ja
mesosaprob, a und b ..	= ja

Unaufgeschlossene

Materie	ca. 10–12%
--------------------	------------

Vorliegende Dreiteilige Formel kann selbstverständlich auf jede Art von Bodenprobe angewendet werden.

Dieser „Edaphonhumus“ ist zu verwenden für alle Kulturgewächse zur Boden-erneuerung. Sehr kalkarme Böden bedürfen eines Zuschusses von 1–3% Düngkalk, der mit dem Humus gemischt oder etwas später ausgestreut werden kann.

Edaphonhumus kann mit jedem Düngerstreuer ausgestreut werden. Man gibt pro 1 ha 5–10 cbm Edaphonhumus im Feld und im Garten mindestens 1–2 cm Decke auf ein Beet. Gießen nach lockerem Einhacken.

ANALYSE DES NILSCHLAMMES

Physikalische Analyse des trockenen Nilschlammes:

Steine	keine	feiner Sand	59 %/o
grober Sand	20 %/o	Schlamm	21 %/o

Chemische Analyse:	Oktober 1926 %/o	Hochwasser 1929 %/o	Tiefwasser 1931 %/o
Glühverlust	7,90	9,10	12,00
Kieselerde (SiO ₂)	50,10	48,50	45,17
Aluminiumoxyd (Al ₂ O ₃)	17,17	19,35	19,63
Eisenoxyd (Fe ₂ O ₃)	11,51	10,47	10,40
Calziumoxyd (CaO)	4,50	3,31	3,78
Magnesia (MgO)	3,43	2,95	3,24
Titan (TiO)	2,20	2,46	1,93
Natron (Na ₂ O)	1,15	0,81	0,75
Kali (K ₂ O)	1,15	0,98	0,92
Manganoxyd (Mn ₂ O ₂)	0,22	0,23	0,26
Kohlensäure (Co ₂)	1,18	1,04	0,93
Schwefelsäure (SO ₃)	0,25	0,42	0,52
Phosphorsäure (P ₂ O ₅)	0,24	0,17	0,36
Stickstoff (N)	—	0,125	0,13

Biologische Analyse:

(Nilschlamm von überschwemmten Feldern von Bedraschein bei Sakkara 21. 10. 1936)

Struktur: locker, fast nur aus organisch-anorganischen Zoogloeen bestehend.
 Mineralsplitter: fast ausschließlich Silikate, viele Feldspate (Plagioklas);
 pH-Wert = 7.

In 1 ccm Schlammsediment enthaltene Organismen:

92 000	Protozoen
75 000 000	autochthone Mikroflora
2 000 000	Bodenpilze, Sporen und Cysten
150 000 000	Bakterien
227 092 000	

Lithobionten und Bakterien überwiegen (Oligosaprobe Dominante).

Die einzelnen Gruppen sind hauptsächlich:

Hormogonales (Oscillatoria, Isocystis Phormidium)	Cladosporium humifaciens Navicula atomus u. sp.
Geococcus vulgaris u. sp.	Merismopoedia sp.
Autochthone Mikroflora (Nannamöba plasmodium etc.)	Pilzsporen und Cysten



Vergleichende Kompostierungsversuche mit EDAPHON-Impfmasse in einer norddeutschen Gärtnerei

TAFEL XII



Pflanzen links: Gloxinien in einjähriger Komposterde ohne Impfung,
 Pflanzen rechts: Gloxinien in einjähriger Komposterde mit EDAPHON-Impfung



Pflanzen links: Gloxinien in dreijähriger Komposterde ohne Impfung,
 Pflanzen rechts: Gloxinien in einjähriger Komposterde mit EDAPHON-Impfung.
 (Schwere Erde aus Einum bei Hildesheim)

Muster Nr. 7 – Humus aus *Citronella*
(Zitronengras)

pH	7,20
Feuchtigkeit	66,82%
Organischer Stickstoff (N)	0,11%
Organische Substanz	17,11%
Assimilierbarer Phosphor	
(P ₂ O ₅)	0,50%
Kalium (K ₂ O)	1,08%

Muster Nr. 8 – Humus aus leeren
Maiskolben

pH	8,00
Feuchtigkeit	8,96%
Organischer Stickstoff (N)	0,07%
Organische Substanz	14,00%
Assimilierbarer Phosphor	
(P ₂ O ₅)	0,24%
Kalium (K ₂ O)	1,60%

Muster Nr. 9 – Humus aus Resten
des Zuckerrohres

pH	7,90
Feuchtigkeit	71,42%
Organischer Stickstoff (N)	0,08%
Organische Substanz	15,00%
Assimilierbarer Phosphor	
(P ₂ O ₅)	1,23%
Kalium (K ₂ O)	0,93%

Muster Nr. 10 – Humus aus *Agava*
americana (zerhackte Pflanze nach der
Pulque-Gewinnung)

pH	8,40
Feuchtigkeit	54,74%
Organischer Stickstoff (N)	0,06%
Organische Substanz	9,40%
Assimilierbarer Phosphor	
(P ₂ O ₅)	3,05%
Kalium (K ₂ O)	1,35%

Mexico, D.F. den 8. Januar 1955

E. Ochoa de la R., Chem.

J. Gpe. Morales L., Chem.

Alejandro E. Cardenas, Chem.
Chef des Laboratoriums

Rundstempel
Landwirtschaftsministerium

Abteilung: Gen. Dir. der Agronomie
Mexico
Unterabtlg: landwirtsch. Analysen
Nr. 204.3 -

Gegenstand: Analyse von drei Mustern Humus
Einsender: Cia. Mexicana de Abonos Agricolas, S.A., Mexico City
Nr. des Laboratoriums: 195

Resultat der Analyse aus feuchten Mustern:

Muster Nr. 1 - Humus aus Sägespänen

pH 7,3
Feuchtigkeit 54,52 %
Asche 9,43 %
Verlust durch Verbrennung 90,57 %
Gesamt Stickstoff (N) 0,40 %
Assimilierbarer Phosphor —
Kalium —
Organische Substanz 39,95 %

**Muster Nr. 2 - Humus aus Rückständen
der Nescafé-Fabrikation**

pH 7,5
Feuchtigkeit 44,92 %
Asche 8,83 %
Verlust durch Verbrennung 91,17 %

Gesamt Stickstoff (N) 1,27 %
Assimilierbarer Phosphor
(P₂O₅) 0,25 %
Assimilierbares Kalium (K₂O) 0,40 %
Organische Substanz 38,22 %

**Muster Nr. 3 - Humus aus Rückständen
der Gerberlohe (20 Jahre alt)**

pH 7,8
Feuchtigkeit 51,21 %
Asche 16,40 %
Verlust durch Verbrennung 83,60 %
Gesamt Stickstoff (N) 1,14 %
Assimilierbarer Phosphor
(P₂O₅) 0,50 %
Assimilierbares Kalium (K₂O) 0,98 %
Organische Substanz 36,25 %

Mexico, D.F. den 21. Mai 1955

E. Ochoa de la R., Chem.

J. Gpe. Morales L., Chem.

Alejandro E. Cardenas, Chem.
Chef des Laboratoriums

EINFLUSS VON EDAPHON-HUMUS AUF DEN ZUCKERGEHALT
DES ROHSAFTES VON ZUCKERROHR

(Übersetzung des mexikanischen Original-Attestes)

Control-Quimico

Mexico, D.F.
Durango 283

Rafael Illescas F.
Chem., Techn.
Guillermo Cortina A.
Chem., Ing.
Manuel Madrazo G.
Chem.

Analyse Nr. 18,359

Resultat der Analyse von Mustern Zuckerrohr „A“ und „B“ aus der Zuckerfabrik
„La Margarita“ in Vicente, Oaxaca.

Muster „A“ ist aus Zuckerrohr ohne Anwendung von Humus-Edaphon.

Muster „B“ ist aus Zuckerrohr mit Anwendung von Humus-Edaphon.

	Muster A	Muster B
Rohsaft	61,1 %	58,0 %
Zuckermenge im Rohsaft	16,6 %	18,6 %

Mexico, D.F. den 16. April 1957

Guillermo Cortina A.

(Entscheidend ist, daß durch den Einfluß von Humus-Edaphon der Rohsaft einen geringeren Wassergehalt und einen um 2% höheren Zuckergehalt aufweist.)

Erläuterung

der im Text vorkommenden Fachausdrücke
in alphabetischer Reihenfolge

Bearbeitet von Dr. Thekla Glas-Weintraut

Actinomyces odorifer: Strahlenpilz. Siehe Actinomycetales.

Actinomycetales: Strahlenpilze. Lange Stäbchen, oft mit der Fähigkeit zu echter Verzweigung und mycelartigem Wachstum, meist unbeweglich. Oft mit Sporenbildung. Viele Arten bilden Farbstoffe, einige sind Krankheitserreger.

Mycobacterium (Bacterium) tuberculosis. Erreger der Tuberkulose.

Actinomyces bovis. Erreger der Rinderactinomycose. Ruft auch bei Menschen die Strahlenpilzkrankheit hervor. Einige Formen liefern Antibiotica.

Actinomyces alni. Lebt als Symbiont in den Wurzelknöllchen der Erle, wo er freien Stickstoff assimiliert.

Actinomyces odorifer. Ist ein Anzeiger von gutem Boden und verleiht ihm einen veilchenartigen Geruch.

Actinomyces thermophilus

Actinomyces diromogens

Aureomyces

Streptomyces

Streptothrix

} liefern Antibiotica.

Adventivwurzeln: Wurzeln 2. Ordnung (von der Hauptwurzel abzweigende Nebenwurzeln).

aerob: sauerstoffbedürftig.

Algen: Gehören zu den „Lagerpflanzen“. Niedere, blattgrünführende (assimilierende) Pflanzen. Führen außer Chlorophyll häufig auch andere Farbstoffe. Im Meer, in Gewässern und im Erdboden vorkommend.

Hauptgruppen: Geißelalgen (Flagellaten), Grünalgen (Chlorophyta), Kieselalgen (Diatomeen), Braunalgen (Phaeophyta), Rotalgen (Rhodophyta).

Alfalfa Luzerne: Schmetterlingsblütler. Leguminose.

Alkaloide: Basische Pflanzeninhaltsstoffe, die eine starke, meist spezifische Wirkung auf verschiedene Bezirke des Nervensystems ausüben (meist Nervengifte).

Alkaloidreich sind die Mohn- (Papaveraceen) und Nachtschattengewächse (Solanaceen). Heute sind über 2000 Alkaloide erforscht. Am bekanntesten sind: Coffein (im Kaffee), Nikotin (im Tabak), Atropin (in der Tollkirsche), Morphin (im Mohn) usw.

Alternaria: Parasitischer Pilz. Erreger von Pflanzenkrankheiten.

Amöben: Urtierchen. Siehe Protozoen. *Amoeba terricola*, Bildtafel I/15, 16.

Amylobacter: Buttersäurebazillus. Siehe Bakterien, B. Bacillaceae (*Clostridium butyricum*).

Anabaena: Siehe Blaualgen.

anaerob: Sauerstoff-fliehend.

Apatit: Mineral. Chlorid- und fluorhaltiger phosphorsaurer Kalk. Kommt vor als Kristall in den meisten Eruptivgesteinen und in dichten, erdigen Massen (Phosphorit). Phosphorit wird zu Düngemitteln verarbeitet.

Aphanolaimus: Nematode.

„**aquasnegras**“ (lat.) „schwarze Wasser“. Gemeint sind Kanalwässer.

Arcella: Wurzelfüßler. Siehe Rhizopoden. Bildtafel I/14.

Arktische Algen: Gewisse Blaualgen und einzellige Grünalgen, die hohe Kältegrade vertragen. Kommen in Schnee und Gletschereis vor.

Arthrospira: Spirulina. Siehe unter Blaualgen, 4 und Bildtafel I/2.

Aspergillus: Schimmelpilz. Gießkannenschimmel. Es gibt etwa 60 Gattg., die meist saprophytisch auf den verschiedensten organischen Substraten wie Lebensmitteln, Früchten, Leder usw. leben.

Assimilation: Die grüne Pflanze baut aus dem stetig der Luft entnommenen Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe von Sonnenlicht und Blattgrün (Chlorophyll) Kohlehydrate auf. Dabei wird Sauerstoff frei. Die Assimilationsprodukte werden als Reservestoffe gespeichert. Dieser Prozeß verläuft während der Dunkelheit rückläufig, indem Stärke abgebaut und Kohlensäure ausgeschieden wird.

Autochthone Mikroflora: Eine Gruppe noch wenig erforschter Kleingeobionten. Sie bilden Kolloide, welche die erste mineralische Aufschließung vorbereiten. Sie kommen überall in ungeheuren Massen vor und sind gleichmäßig in der ganzen Welt zu finden. (Siehe „Grundriß der Mikrobiologie“ von Prof. Dr. August Rippel-Baldes, Berlin und Göttingen, Springer-Verlag 1947.)

Auxosporen: Wachstumssporen bei Diatomeen. Der Plasmakörper einer Zelle drängt die Schalenhälften auseinander und wächst zu einer vergrößerten Zelle heran.

BAKTERIEN

Sehr kleine Lebewesen, meist um $1/1000$ mm groß, z. T. noch kleiner, rund, elliptisch oder stäbchenförmig, unbeweglich oder mittels Geißeln beweglich. Die Zellen leben einzeln oder in Kolonien oder Fäden. Vermehrung erfolgt durch einfache Zweiteilung oder durch Bildung von Endosporen. Die meisten leben heterotroph, einige autotroph oder chemosynthetisch. Sie sind meist reich an Enzymen und führen mit ihrer Hilfe Gärungen und Stoffumsätze durch. Einige bilden Farbstoffe aus und geben sie an die Umgebung ab. Teils leben sie aerob (nur bei Luftzutritt), teils anaerob (nur ohne Sauerstoff). Viele Bakterien bilden giftige Stoffwechselprodukte (Toxine). Sie sind Erreger von Krankheiten bei Mensch, Tier und Pflanze. Desulfurizierende Bakterien bewirken die Ablagerung von schwarzem Schwefeleisen, Eisenbakterien fällen Eisenhydroxyd aus dem Wasser und bilden, abgestorben, die Raseneisenerzlager. Eine große Anzahl von Bakterien lebt im Boden und führt dort die mannigfaltigsten Stoffumsetzungen durch (Nitrifizierer, Denitrifizierer, Zellulosezersetzer). Eine Reihe von Bakterien bilden Antibiotika, z. B. Streptomyces. Die Bakterien sind sehr anpassungsfähig und formenreich. Es gibt etwa 150 Gattungen.

Die Bakterien werden eingeteilt:

A. Bacteriaceae (ohne Sporenbildung):

Familie: **Nitrobacteriaceae:** Boden- und Wasserformen.

Nitrosomonas europaea. Oxydiert Ammoniakverbindungen zu Nitriten. Nitritbildner. Bildet Salpetersäure und zersetzt damit Kalkgestein.

Nitrosococcus nitrosus. Kommt im Boden vor.

Nitrobacter winogradski. Oxydiert Nitrite des Bodens zu Nitraten. Salpeterbildner. Nitratbildner.

Hydrogenomonas pantotropha. Oxydiert Wasserstoff.

Thiobacillus denitrificans. Oxydiert Thiosulfat, Sulfide und elementaren Schwefel im Wasser und Boden.

Familie: **Pseudomonadaceae:** Zellen polar begeißelt.

a) Gerade Stäbchen bildend:

Pseudomonas. Kommt im Boden und Wasser vor. Erreger von Pflanzenkrankheiten.

Pseudomonas aeruginosa (*Pseudom. pyocyanea* *Bac. pyocyaneus*). Erreger des blauen Eiters.

Pseudomonas synchyanea. Verursacht die „Blaue Milch“.

Pseudomonas fluorescens. Im Wasser und Boden vorkommend. Scheidet einen grünen fluoreszierenden Farbstoff aus.

Methanomonas methanica. Lebt im Boden, verarbeitet Methan.

Acetobacter aceti und *A.xylinum*. Essigbildner. Bildet Kahlhaut (Essigmutter).
b) Zellen schraubenförmig gerundet (Spirillen).

Vibrio-comma. Erreger der Cholera.

Desulfovibrio. Schwefelabbauer.

Spirillum undula und *Sp.volutans*. Kommen im Sumpfwasser vor.

Familie: **Azotobacteriaceae**: Freilebende, streng aerobe, stickstoffbindende Bakterien.
Azotobacter chroococcum. In Kulturböden lebend. Bindet Luftstickstoff und trägt zur Stickstoffanreicherung des Bodens bei.

Familie: **Rhizobiaceae**:

Erd Bakterien. Rufen bei Leguminosen die Wurzelanschwellungen (Knöllchen) hervor.

Rhizobium. Stickstoffbindend. Knöllchenbakterien.

Rhizobium leguminosarum (*Bact. radicicola*) und

Rhizobium lupini bewirken Bakterienknöllchen an Leguminosenwurzeln.

Agrobacterium (*Pseudomonas tumefaciens*). Erreger von Krebsgeschwülsten an verschiedenen Pflanzen, besonders an Obstbäumen.

Chromobacterium violaceum. Bildet violetten Farbstoff.

Familie: **Micrococcaceae**: Coccaceae.

Außerordentlich kleine, weniger als 1/1000 mm große, kugelförmige Zellen, einzeln oder in Verbänden; Teilung nach 1,2 und 3 Richtungen des Raumes. Bilden meist gelbe, blaue oder rote Farbstoffe.

Micrococcus luteus. Gelb. In Luft und Wasser auftretend.

Micrococcus roseus. Rot. In staubiger Luft.

Micrococcus (*Staphylococcus*) *pyogenes* var. *aureus*, goldgelber Eitererreger.

Sarcina lutea. Gelb. In Luft, Wasser und Boden. *Sarc.* bilden würfelförmige Pakete.

Familie: **Achromobacteriaceae**:

Unbewegliche oder bewegliche Formen. Zum Teil pathogen.

Achromobacter (*Bacillus*) *liquefaciens*. Gemeine Wasserbakterie.

Flavobacterium. Im Wasser und Boden.

Familie: **Anterobacteriaceae**:

Stäbchen meist beweglich. Vielfach pathogen.

Esoherichia (*Bacterium*) *coli*. Normaler Bewohner des Dickdarms.

Escherichia coli var. *acidi lactici*. (*Bacterium acidi lactici*.) Milchsäurebakterium.

Aerobacter aerogenes (*Bact. lactis aerogenes*). Im Darmtraktus von Menschen und Tieren. In der Natur weit verbreitet.

Serratia marcescens (*Bact. prodigiosum*). Hostienpilz. In Wasser, Boden, Milch und auf Brot vorkommend.

Proteus vulgaris. Gemeine Fäulnisbakterie. Eiweißzersetzer.

Familie: **Bacteriaceae**:

Stäbchen, teils beweglich, teils unbeweglich.

Bacterium mycoides. Im Boden.

Bacterium Phosphoreum und *B.phosphorescens indigenus*. Leucht Bakterien.

Methanobacterium soehngenii. Anaerobe methanbildende Bakterie in Abwässern.

Cellulomonos biazotea. Zersetzt im Boden Cellulose.

B. Bacillaceae (mit Sporenbildung):

Bewegliche oder unbewegliche Stäbchen. Meist Bodenbewohner. Einige pathogen. *Bacillus subtilis*. Heubacillus.

Bacillus mesentericus. Kartoffelbacillus. Verursacht das Fadenziehen des Brotes.

Bacillus cereus (*B. mycoides*). Im Erdboden weit verbreitet.

Clostridium butyricum (*Bac. amylobacter*). Buttersäurebacillus. Lebt anaerob. Kommt im Boden vor. Assimiliert den Luftstickstoff. Gehört in die Gruppe der Organismen, die bei der Flachsrotte oder -röste die Flachsfaser aus ihrem natürlichen Verband herauslösen.

Clostridium tetani. Erreger des Wundstarrkrampfes. Lebt im Boden.

Clostridium Pasteurianum. Bindet atmosphärischen Stickstoff im Boden und ist daher für die Landwirtschaft von großer Bedeutung.

Bact. radiculicola (*Rhizobium leguminosarum*): Knöllchenbakterium. Siehe unter Bakterien, A, Familie Rhizobiaceae und Bildtafel I/3.

Bakteriophag: Siehe Virus.

Biokatalysatoren: Wirkstoffe (Fermente, Hormone, Vitamine, Spurenelemente), die im menschlichen, tierischen oder pflanzlichen Organismus schon in sehr geringen Mengen stoffwechselphysiologische Vorgänge auslösen, beschleunigen oder verlangsamen.

Biözönose: Vielteilige Lebensgemeinschaft, die sehr verschiedenen, nicht verwandten Arten von Organismen die Vorteile einer besseren und gesicherteren Existenz gewährt. (Nicht zu verwechseln mit „Symbiose“.)

Blaualgen: Spaltalgen. Cyanophyta. Blaugrüne, autotroph lebende, teils sehr kleine einzellige oder fadenförmige Algen. Die Zellen enthalten keinen echten Zellkern und keine echten Chromatophoren. Das Außenplasma (Chromatoplasma) ist blaugrün gefärbt, das Zentroplasma ist farblos.

Als Assimilationsprodukt und Reservestoff bilden sie nicht wie die anderen Pflanzen Stärke, sondern Glykogen (wie die Hefen). Vermehrung erfolgt durch Zellsplattung. Kommen im Süßwasser und im Erdboden vor. Einzelne Formen leben auf und in höheren Pflanzen, auf Steinen, als Symbionten in Flechten. Einige Formen sind thermophil und vertragen Temperaturen von 85° C. Andere scheiden Eisenhydroxyd und kohlen-sauren Kalk ab.

Die Blaualgen werden eingeteilt in:

1. Chroococcales. Zellen kugelig oder elliptisch, einzeln oder in verschiedenen gestalteten Kolonien lebend, mit gallertigen, festen, oft blasenförmig aufgetriebenen oder geschichteten Membranen, z. B. *Chroococcus turgidus*. In Hochmooren vorkommend. Bildtafel I/5; *Gloecapsa montana*. Bildtafel I/6. Bildet an feuchten Felsen gallertige Überzüge. *Gloeothece monococca*. Bildtafel I/9.
2. Pleurocapsales. Lager in kriechende und aufrechte Fäden differenziert. *Pleurocapsa*.
3. Festsitzende Blaualgen, ein- oder zweizeilig, einzeln oder gesellig lebend, differenziert in Basis und Spitze.
4. Hormogonales. Zellfäden werden aus gleichartigen Zellscheiben gebildet, die durch dünne Querwände bzw. Tüpfel miteinander in Verbindung stehen. Teils stecken die Zellfäden in Scheiden wie bei *Phormidium*. *Spirulina* hat schraubig gebogene Fäden. *Spirulina* (*Arthrospira*) *Jenneri*, in stehenden Gewässern kosmopolitisch. Bildtafel I/2. *Oscillatoria*. Fadenalgen, welche eine schwingende Bewegung ausführen. Z. B. *O. tenuis*. Bildtafel I/1. Zahlreiche Arten. *O.* lebt im Wasser, Schlamm und im Erdboden. Es gibt thermophile Arten. *Anabaena* und *Nostoc* haben un-

verzweigte Fäden mit schleimigen Scheiden. Erstere ist Wasser- und Erdbewohner. Letztere lebt vor allem im Süßwasser, *Nostoc commune* auf feuchten Wiesen, auf Wegen und im Boden.

Brachionus plicatilis: Wappentierchen. Rädertierchen. Siehe Rotatorien.

brackig: „Brackwasser“, halbsalziges Wasser in der Nähe der Flußmündungen in das Meer.

Cellulose (lat.): Zellstoff. Die Zellwände der Pflanzen bestehen aus Cellulose. Im Holz ist sie mit Lignin verkrustet. Watte und Baumwolle bestehen aus fast reiner Cellulose. C. ist ein hochmolekulares Kohlehydrat.

Chaetophora: Reichverzweigte Grünalge. Im Süßwasser der ganzen Welt verbreitet.

Chlorophyll: Blattgrün.

Ciliaten: Siehe Protozoen.

Cladosporium: Schwärzepilz, der Blätter befällt und den „Rußtau“ bildet.

Closterium moliniferum: Zieralge. Grünalge. Lebt in eutrophen (verlandenden) Gewässern.

Clostridium Pasteurianum: Siehe Bakterien B.

Coccen: Siehe Bakterien.

Conidien: Siehe Spore.

Crenothrix polyspora: Fadenbakterie mit Scheide. Brunnenfaden, lebt in eisenhaltigem Wasser, oft massenhaft in Wasserleitungen.

Cymbella: Diatomee. Kieselalge.

Cyste: Bei niederen Pflanzen (Algen) und niederen Tieren (Urtierthen, Schwämmen, parasitischen Würmern etc.) durch Absonderung fester Umhüllungen entstehendes kapselartiges Gebilde. Die Cystenbildung kann durch ungünstige Lebensbedingungen bewirkt werden (Schutzcysten) oder mit Vorgängen der Vermehrung (Vermehrungscysten) sowie der Befruchtung verknüpft sein. In Form von Cysten vermögen die Organismen ungünstige Umweltsbedingungen zu überdauern (z. B. Trockenperioden).

Cystococcus: Grünalge.

Desmidiaceen: Zieralgen. Grünalgen.

Detritusflocden: An den Kolloidmantel der Zoogloea lagern sich stets Huminsäuren, aufgeschlossene Eiweiß- und Kohlehydratreste sowie auch kleinste Mengen mineralischer Gele an. Später verdichtet sich die zunächst durchsichtige, leichte Flockenform und die gelartige Konsistenz tritt zugunsten einer kompakteren Form zurück.

Diatomeen: Kieselalgen. Einzellig lebende Algen, häufig mit gleitender Eigenbewegung. Chromatophoren sind gelbbraun oder braun. Die Zellwand besteht aus zwei übereinandergreifenden Schalen, die in der Hauptsache aus Kieselsäure bestehen. Die Schalenflächen sind mannigfaltig mit Poren, Leisten, Knötchen oder linearen Liniensystemen versehen, die zur Erkennung der einzelnen Arten herangezogen werden. Alle beweglichen Diatomeen haben eine Längsrinne. Vegetative Vermehrung erfolgt durch Zellteilung. Man unterscheidet Diatomeen mit

1. zentrisch,

2. langgestreckt und bipolar gebauten Schalen.

Zu letzteren gehören die häufig im Erdboden auftretenden Arten: *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Hantzschia amphyxoxis* (Bildtafel I/12), *Surirella*, *Naoicula*, *Cymbella*, *Licmophora*, *Tabellaria fenestrata* (Bildtafel I/W), *Meridion circulare* (in kreisförmig gebogenen Ketten) Bildtafel I/11.

Diffugia: Beschaltete Amöben. S. Protozoen, Rhizopoden.

Dileptus: Wimpertierchen. Siehe Protozoen und Bildtafel I/22.

Dotylaismus: Nematode. Siehe Nematoden.

Edaphon: Leitet sich ab von „edaphos“, d. h. „das im Boden Lebende“. Das Wort wurde von R. H. Francé für den ganzen Komplex des Bodenlebens gewählt. (Bakterien, Pilze, Algen, Protozoen, Käfer, Würmer.)

encystieren: Siehe Cyste.

Euplotes: Wimpertierchen. S. Protozoen, Ciliaten.

Faulschlamm: Am Grunde von Gewässern angereicherte, breiige, übelriechende Massen organischer Stoffe, bes. Reste von Planktonorganismen, die in Fäulnis übergegangen sind, aber infolge von zu geringem Sauerstoffgehalt nicht völlig mineralisiert werden können. Er kann in natürlichen stagnierenden Gewässern mit sehr starkem Pflanzenwuchs entstehen. In Kläranlagen tritt er immer auf. In Faulschlamm entsteht das Sumpfgas (Methan).

Feldspat: Silikatgestein. Natron-Feldspat = Natrium-Aluminium-Silikat, Kali-Feldspat = Kalium-Aluminium-Silikat. Kalk-Feldspat = Calcium-Aluminium-Silikat. Kommt in den eruptiven Erstarrungsgesteinen vor (Urgestein). Bei der Verwitterung der Feldspäte gehen die alkalischen Bestandteile verloren und es entsteht Kaolin (wasserhaltiges, weißes Tonerdesilikat). Gemeiner Feldspat ist ein wesentlicher Gemengeteil von Granit, Gneis, Syenit und Porphyr.

Flagellaten: Geißler. Stehen an der Grenze zwischen Tier und Pflanze. Siehe Protozoen, Flagellaten.

Foraminiferen: Rhizopode. Siehe Protozoen, Rhizopoden.

Fusarium: Pilz. Pflanzenschädling.

Gallionella: Bakterium. Lagert in den schleimigen Membranen Eisenhydroxyd ein. In eisenhaltigen Quellen.

Geobionten: Pflanzliche und tierische Kleinlebewesen, welche die oberen Bodenschichten bewohnen.

Geococcus vulgaris Francei: Grünalge.

Geißler: Siehe Flagellaten. Protozoen.

Geysir: Trichterförmige Quelle, die ihr heißes Wasser periodisch nach Art eines Springquells auswirft. Das zeitweilige Aufkochen ist durch vulkanische Wärme bedingt. Geysire sind vor allem in Island häufig.

Glimmer: Kommt vor als: Muskoroit (heller Kaliglimmer). Ist wesentlicher Gemengeteil von Tiefengesteinen, vor allem von Granit, kristallinen Schiefen, Gneisen und Glimmerschiefen. Er fehlt in den Ergußgesteinen. Biotit (dunkler Magnesiaglimmer). In Graniten und Gneisen, auch in Ergußgesteinen häufig. Durch Eisen dunkelbraun gefärbt.

Gloeocapsa: Siehe Blaualgen und Bildtafel I/6.

Gloeococcus mucosus: Grünalge. Bildet kugeliges Gallertlager. Bildtafel I/8.

Gloeocystis: Grünalge. Bildtafel I/13.

Gneis: In großen Erdtiefen unter hohem Druck und bei hoher Temperatur chemisch umgewandeltes Sediment- oder magnetisches Gestein.

Gomphonema: Kieselalge. Siehe Diatomeen.

Granit: Ur- und Grundgestein der Erdkruste. Ein Gemenge von Quarz, Feldspat und Glimmer (Biotit). Tiefengestein, d. h. bei langsamer Abkühlung und unter hohem Druck verfestigt aus dem Magmaglutfluß, ehe er die Erdoberfläche erreicht hat.

Granulobacter: Bakterium.

- Grünalgen:** Sehr vielgestaltige, als Einzelzellen, Kolonien, Palmellen, Fäden, Zellflächen oder Zellkörper auftretende Algen. Weit verbreitet in Süßwasser, Brackwasser, im Meer und auch in der Luft.
- halophil:** Salzliebend. Pflanzen, die auf stark salzhaltigem Boden gedeihen [Meeresküste) heißen Halophyten.
- Halteria cirrifera:** Wimpertierchen. Siehe Protozoen, Ciliaten.
- Hantzschia amphyoaxis.** Siehe Diatomeen und Bildtafel I/12.
- Henequenbagaza:** Henequen = Agave, Bagaza = Rückstand. Rückstände, die bei der Aufbereitung der Agave (Fasergewinnung) anfallen.
- hygroskopisch:** Wasseranziehend.
- Infusion:** Aufguß, Aufschwemmung.
- Infusorien:** Aufgußtierchen. Urtierchen. Wimpertierchen. Ciliata. Die Bezeichnung „Infusorien“ kommt davon her, daß sich im Aufguß („Infusion“) von Heu und Stroh u. a. zahlreiche Wimpertierchen entwickeln. Siehe Protozoen, Ciliaten und Bildtafel I/22, Dileptus anser, I/23, Thauricola folliculata, I/24, Cyste.
- Kapillartätigkeit:** Capillare = Haargefäß. Feinste Bahnen im Erdboden, über welche sich der Flüssigkeitsaustausch (Wasserhaushalt) vollzieht.
- Knöllchenbakterien:** Stickstoffsammler. Siehe Bakterien A, Familie Rhizob. und Bildtafel I/3.
- Kohlehydrate:** Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Zu den Kohlehydraten zählen die verschiedenen Zuckerarten, Stärke, Glykogen, Imilin, Cellulose, Pektine, Hemizellulose.
- Kokken:** Coccus. Siehe Bakterien.
- Kolloid:** Kolloide entfalten große Oberflächen. Die Größe der einzelnen Kolloidteilchen liegt unterhalb der Sichtbarkeitsgrenze des Mikroskopes. Es gibt anorganische und organische Kolloide. Zu den Kolloiden zählen Leim, Eiweißkörper, Milch, Wasserglas, viele Tonsorten, Schäume, Rauch, Nebel usw.
- Konidien:** Bei den Pilzen bilden sich Sporen durch Abschnürung von den Pilzhyphen (Konidien sporen).
- Lapilli:** Aus dem Schmelzfluß (Magma) der Vulkane stammende Gesteine.
- Lava:** Flüssiger Magmaglutfluß aus den Vulkanen.
- Laminaria:** Braunalge. Die größten Meeresgewächse (bis 12 m lang). Meist Gesteinsbewohner.
- Leguminosen:** Hülsenfrüchtler (z. B. Erbsen, Bohnen, Linsen, Erdnuß, Lupine, Klee usw.). Haben Knöllchenbakterien als Wurzelsymbionten.
- Licmophora:** Siehe Diatomeen.
- Ligninsubstanz:** „Holzstoff“. Neben Cellulose der wichtigste Holzbestandteil. Lufttrockenes Fichtenholz enthält z. B. ca. 28% Lignin. Säure- und wasserunlöslich. Es dient der Pflanze als Stützbaustoff und erhöht die Widerstandskraft gegen Nässe. Beim Verrotten (Zelluloseabbau) bleibt Lignin zurück.
- lithobiontisch:** Gesteinsbewohnend.
- Magma:** Im Erdinnern eingeschlossene, heiße, aus Silikaten bestehende und mit Gasen (Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Kohlendioxyd, Chlor u. a.) durchsetzte Schmelze. Ihre Bewegung im Erdinnern verursacht gebirgsbildende Vorgänge und die Vulkanausbrüche. Dabei kann das Magma in der Erdrinde stecken bleiben und sich verfestigen, ehe es die Erdoberfläche erreicht hat (Tiefengestein), oder es wird ausgeschleudert und erstarrt (Erstarrungsgestein).
- Makroorganismen:** Lebewesen, welche ohne Hilfe von Lupe oder Mikroskop für das Auge sichtbar sind.

Maqueypflanzen: Agaven.

Melanine: Dunkle bis schwarze Farbstoffe. Melanine werden im menschlichen und tierischen Körper als Strahlungsschutz in Haut, Haaren, Federn, Schuppen, aber auch in inneren Organen gebildet.

Meridion circulare: Siehe Diatomeen und Bildtafel I/11.

mesosaprob: Siehe Saprobier.

Mezquitebäume: Leguminosenbäume der Wüste, die als freiwilligen Stammausfluß Gummi (Mezquite) liefern.

Mikroorganismen: Lebewesen, deren Größe unterhalb der Sichtbarkeitsgrenze des menschlichen Auges liegt und die nur mit Hilfe des Mikroskopes beobachtet werden können.

Monaden: Eine Gruppe von Flagellaten. Es gibt Chloromonadina, die zu den Phytoflagellaten gehören. Sie ernähren sich wie die Pflanzen durch Assimilation, wobei sie als Reservestoff fettes Öl bilden. Im Gegensatz dazu besitzen die Protomonadina keine Farbstoffträger, welche eine Assimilation ermöglichen. Sie ernähren sich auf tierische Weise.

Monilia: Parasitischer Pilz, der Obst befällt. *Monilia fructigena* auf Äpfeln und Birnen, *Monilia laxa* auf Aprikosen, *Monilia cinerea* auf Kirschen.

monozoetisch: Lebensgemeinschaft von Organismen einer einzigen Art.

Mucor: Pilz. *Mucor racemosus* bildet Schimmel auf Brot und pflanzlichen Substanzen; in zuckerhaltigen Lösungen ruft er alkoholische Gärung hervor. *Mucor mucedo* wächst auf Mist.

Mykorrhiza: „Pilzwurzel“. Pilzmycelien leben mit den Wurzeln höherer Pflanzen in Symbiose zusammen. Man unterscheidet: Endotrophe Mykorrhiza. Die Pilze leben in den Zellen der Wurzelrinde oder in der Oberhaut der höheren Pflanze, bilden im Gewebe Knäuel und entsenden feine Pilzfäden in den umgebenden Humus, z. B. bei der Nestwurz (*Neottia*), Fichtenspargel (*Monotropa*). Ektotrophe Mykorrhiza. Die Pilze bilden an der Oberfläche der Wurzeln eine dichte Schicht (ein Pseudoparenchym), z. B. bei unseren Nadelhölzern, Buchen, Weiden, Linden und den Heidekrautgewächsen; überhaupt bei vielen Bewohnern von Heide und Moor. Peritrophe Mykorrhiza. Die Pflanzenwurzeln sind von einer Pilzschicht (Rhizosphäre) umgeben. Die Pilze dringen nicht in die Wurzel ein, leben aber in enger Gemeinschaft damit, z. B. bei Kiefer, Fichte, Lärche, Birke, Orchideen. Orchideen können ohne ihre spez. Pilze nicht auskeimen.

Nannedaphon: In Anlehnung an den Begriff „Nannoplankton“ bezeichnete R. H. Francé die autochthone Mikroflora als eine „Tiefenform“ des Edaphons, da sie als die am wenigsten licht- und luftbedürftige Zone des Edaphons oft noch in Metern tiefen gefunden wird. Das Nannedaphon enthält unterschiedliche Stäbchen-, Keulen- und Kokkenformen, die vielleicht zyklisch wechseln, aber in allen irdischen Klimata übereinstimmend vorhanden sind.

Navicula: Siehe Diatomeen.

Nectria: Pilz, der häufig auf dürren Ästen von Bäumen und Sträuchern vorkommt. *Nectria ditissima* erzeugt an vielen Laubbäumen Krebs.

Nematoden: Fadenwürmer, die teils frei im Süßwasser, in feuchter Erde oder im Moor leben, teils parasitisch in Pflanzen, Tieren und im Menschen (Spulwürmer). Nematoden sind langgestreckte, runde Würmer, von 1 mm bis 1 m Länge. Fadenwürmer von sehr geringer Größe leben in Massen frei im Erdboden. Das Essigälchen wird 1—2 mm lang. Das Rübenälchen verursacht Rübenmüdigkeit. Das Weizenälchen ist der Erreger der Gichtkrankheit der Weizenkörner und das Stock- oder Stengelälchen ruft die Stockkrankheit bei Roggen,

Hafer und Mais hervor und schädigt die Rüben. Die Larven mancher Arten sind gekennzeichnet durch doppelte Schlundanschwellung (Rhabditis-Typus). Sie entwickeln sich im Schlamm. Zu ihnen gehören z. B. *Aphanolaimus* und *Doty-laimus*.

Nostoc: Siehe Blaualgen.

Obsidian: Ein basisches, vulkanisches, bei der Abkühlung zähflüssig gewordenes amorphes Glasgestein.

Oikomonas: Monade. Siehe Flagellaten und Bildtafel I/19.

oligosaprob: Siehe Saprobier.

Optimum: Kardinalpunkt. Günstigste Bedingung für den Ablauf eines technischen oder biologischen Prozesses.

Opuntien: Gehören zur Kaktus-Familie (Cactaceen). Der wasserspeichernde Stamm ist an den Verzweigungsstellen verschmälert, die einzelnen Stammabschnitte sind blattartig abgeflacht (Phyllocladien). Der Stamm trägt Blattdornen und die Blüten. Opuntien sind wie fast alle Kakteen in den Wüsten und Halbwüsten Mexikos und im Süden der USA heimisch. Der Feigenkaktus *Opuntia Ficus Indica*, dessen Früchte genießbar sind, kommt im ganzen Mittelmeergebiet verwildert vor.

Oscillatoria (lat. *oscillare* = schwingen) Schwingalge. Siehe Blaualgen und Bildtafel I/1.

Pampa: Grassteppe in Argentinien.

Papilli: Vorsprünge. Geologisch Nebenvulkane.

Passatwinde: Beständige, mäßig starke Luftströmungen aus NO und SO zwischen den Roßbreitenhochs und dem äquatorialen Kalmengürtel. Charakteristisch sind geringe Bewölkung mit flachen Cumuluswölkchen und fast völliges Fehlen von Niederschlägen.

Paramecien: Pantoffeltierchen. Siehe Protozoen, Ciliaten.

Parasit: Schmarotzer. Es gibt pflanzliche und tierische Parasiten. Sie beziehen ihre Nahrung aus lebenden Organismen (Wirt), die dadurch geschädigt werden bzw. zugrunde gehen.

pathogen: Krankheitserregend.

Pedalia: Fußloses, springendes Rädertierchen. Häufig im Plankton. Siehe Rotatorien.

Pektine: Hochmolekulare, geleeartige, kohlehydratartige Pflanzenstoffe, die in Früchten, Wurzeln, Blättern häufig vorkommen. Man gewinnt z. B. aus Äpfeln das Pektin als Gelierungsmittel.

Penicillium: Pilz. Pinselschimmel (über 100 Gattungen). *Penicillium notatum* und *Penicillium chrysogenum* liefern das Antibiotikum Penicillin. *Penicillium brevicaulis* entwickelt intensiven Knoblauchgeruch bei Vorhandensein von Arsen im Nährsubstrat und dient als Nachweis kleinster Arsenmengen bei Arsenvergiftungen. *Penicillium minimum* ist Krankheitserreger.

Peronospora: Parasitischer Pilz. Kommt in etwa 200 Gattungen vor, die auf einzelne Pflanzen spezialisiert sind, z. B. *Peronospora parasitica* (auf Cruciferen), *Peronospora trifoliorum* (auf Leguminosen).

Phormidium: Fadenförmige Blaualge. Siehe Blaualgen.

Phycocyan: Blauer Farbstoff bei Blau- und Rotalgen.

Phycocerythrin: Roter Farbstoff bei Blau- und Rotalgen.

Phycorphaein: Farbstoff der Braunalgen.

Phytophthora: Parasitischer Pilz. *Phytophthora infestans* verursacht die Kartoffelfäule, *Phytophthora cactorum* lebt auf Treibhaus- und Keimpflanzen.

Pilze: Fungi. Blattgrünlose Organismen mit echten Zellkernen. Sie ernähren sich nur heterotroph von toter (Saprophyten) oder lebender (Parasiten) organischer Substanz. Als Reservestoffe bilden sie meist Glykogen und Fette, aber nie Stärke. Das Pilzlager (Thallus) besteht meist aus schlauchförmigen Fäden mit oder ohne Querwänden, die an der Spitze weiterwachsen (Pilzhyphen). Die Hyphen sind lose oder fest miteinander verflochten. Dieses Geflecht heißt Pilzmycel. Die Membran der Pilzhyphen besteht meistens aus Chitin, selten aus Zellulose. Die Vermehrung erfolgt überwiegend ungeschlechtlich durch begeißelte Schwärmer (Pianosporen, Zoosporen), meist aber durch unbewegliche Sporen (Konidien), die in Behältern entstehen (Endosporen) oder an Trägern abgeschnürt werden (Exosporen); ferner durch Zerfall von Hyphen oder ganzen Mycelien (Oidien), oder durch Sprossung (wie z. B. bei der Hefe). Daneben gibt es eine geschlechtliche Fortpflanzung, die sich in mannigfachen Formen vollzieht. Häufig wechseln beide Vermehrungsarten miteinander ab. Durch Umbildung ganzer Mycelien oder einzelner Teile entstehen Dauerformen (Sclerotien) oder einzelne Zellen werden zu Dauersporen. Es gibt nützliche und schädliche Pilze. Alkoholische Gärung wird durch *Saccharomyces* (Hefen) erzeugt. Auch *Mucor*-, *Oospora*- und *Torulopsis*-Arten haben die gleiche Fähigkeit. Neben der Essigsäuregärung durch Bakterien gibt es eine solche, die durch *Mucor*-Arten bewirkt wird. Einer großen Anzahl Speisepilze steht eine weit geringere Anzahl von Giftpilzen gegenüber. Von großer Bedeutung sind die Wurzelverpilzungen (Mykorrhiza). In der Heilkunde hat das alkaloidhaltige Sclerotium von *Claoiceps purpurea*, Mutterkorn, große Bedeutung erlangt, ebenso die Antibiotica, die aus vielen Pilzen gewonnen werden. Die Fähigkeit spezieller Pilze, Cellulose abzubauen, ist einerseits sehr wichtig für den Stoffkreislauf in der Natur, andererseits verursacht sie große Schäden an Bau- und Nutzhölzern (z. B. Hausschwamm, *Merulius lacrymans*). Schimmelpilzbefall von Lebensmitteln, Leder usw. führt oft zu großen Verlusten. Parasitische Pilze auf Nutzpflanzen und Ernteträgern (Getreide, Kartoffel, Obst, Gemüse, Zuckerrüben, Wein) verursachen oft ganz empfindliche wirtschaftliche Ausfälle.

Pilzhyphen: Siehe Pilze.

Pilzmycel: Siehe Pilze.

Plasma, Protoplasma: Lebenssubstanz der pflanzlichen und tierischen Zellen. Besteht hauptsächlich aus Eiweiß.

Pleurococcus: *Protococcus*. Grünälge. Kosmopolitische Erd- und Baumalge.

polysaprob: Siehe Saprobier.

Prärie: Grassteppen in Nordamerika.

Propionsäure: Einfache Fettsäure. Farblose, stechend riechende Flüssigkeit vom spec. Gewicht 0,992. Mit Wasser beliebig mischbar.

Protococcus: Siehe *Pleurococcus*.

Protodetritus: Die ersten Anfänge und Verdunkelungen der durchsichtigen organischen Kolloide, die oft netzartig aufgeschwemmt werden und in denen sich Organismen und Bodenkristalle festsetzen.

Protozoen: Urtierchen. Niederste Form der tierischen Lebewesen. Einzeller, deren Körper aus einem einheitlichen Plasmaleib mit einem oder mehreren Kernen besteht, der aber alle Lebensfunktionen zugleich erfüllen muß, die bei höher organisierten Lebewesen auf genau differenzierte Zellen oder Organe verteilt sind. Ihre Größe bewegt sich zwischen wenigen Tausendstel mm bis einigen Zentimetern. Unzählige Arten leben in Gewässern und in der Erde. Ihre Fortbewegung erfolgt durch Scheinfüßchen, Fortsätze des plasmatischen Zelleibes, die an beliebiger Stelle hervortreten und wieder eingezogen werden können.

Die Protozoen ernähren sich von kleineren Urtierchen, Bakterien und Algen. Aufgrund ihrer Fähigkeit, zu „encystieren“, vermögen die Protozoen Trockenperioden ohne Schaden zu überstehen. Sie werden eingeteilt in: Flagellaten (Geißler) — Rhizopoden (Wurzelfüßler) — Sporozoen (Sporentierchen) - Ciliaten (Wimpertierchen).

Flagellaten (Geißler): Sie bewegen sich mittels Plasmafäden (Geißeln), die einzeln oder zu mehreren am Vorderende des Körpers stehen. Die Flagellaten vermitteln den Übergang zu den einfachsten Pflanzen, den Algen. Es gibt Flagellatenarten, die den Pflanzen und solche, die den Tieren zugeordnet werden. Die pflanzlichen Flagellaten (Phytoflagellaten) besitzen grüne, gelbgrüne oder braune Chromatophoren und ernähren sich mit ihrer Hilfe wie die Pflanzen durch Assimilation. Phytoflagellaten leben im Meer, im Süßwasser und in der Erde, z. B. *Euglena viridis*. Viele farblose, ursprünglich Phytoflagellaten, vermögen neben ihrer pflanzlichen Ernährungsweise auch noch auf osmotischem Wege organische Stoffe aufzusaugen. Die reinen Fäulnisbewohner unter ihnen (Parasiten), sind gänzlich auf diese Lebensweise übergegangen. Sie kommen an Orten vor, wo organische Körper verwesen und ernähren sich von anderen kleineren Fäulnisbewohnern (besonders Bakterien) und Zerfallsprodukten. Im Erdboden besiedeln sie Fäulnisnester.

Rhizopoden (Wurzelfüßler). Sie bewegen sich fort mittels vorübergehenden Plasmafortsätzen, den Pleuropodien (Scheinfüßchen) und umfließen organische Nahrung mit ihrem Plasma und nehmen sie auf. Zu den Rhizopoden zählen:

a) Amöben. Nackte unbeschaltete, formveränderliche Plasmaklumpchen, die Pseudopodien bilden, mit deren Hilfe sie Nahrung aufnehmen und auf einer Unterlage kriechen. Amöbenarten sind im Süßwasser, in feuchter Erde und im Moorwasser weit verbreitet. (*Amoeba terricola*, Tafel 1/15, 16.) Es gibt auch beschaltete Amöben (z. B. *Diffugia*-Arten).

b) Heliozoen (Sonnentierchen). Sie schweben frei im Wasser oder sind an einem Stiel festgeheftet. Sie senden lange dünne Pseudopodien (Axopodien) aus, die als Angelorgane für kleine Organismen dienen, die an ihnen festkleben und durch die Plasmaströmung dem Organismus einverleibt werden.

c) Foraminiferen. Der Plasmakörper wird von einem ein- oder mehrkammerigen Gehäuse umgeben, das aus organischer Substanz, zusammengekitteten Fremdkörpern oder kohlen-sauerem Kalk besteht. Die Pseudopodien treten entweder nur durch eine Hauptöffnung oder durch zahlreiche Poren aus der Schale. Die meisten Foraminiferen kriechen, wenige schweben frei. Ein Großteil des Meeresschlammes besteht aus abgesunkenen Foraminiferenschalen. Sie bilden auch mächtige Gesteinsablagerungen.

d) Radiolarien (Strahlentierchen). Ihr weicher Plasmakörper wird durch ein inneres Skelett, meist aus Kieselsäure, selten aus Strontiumsulfat bestehend, gestützt. Ein innerer dichter Teil des Plasmas ist von einer porigen Membran, der Zentralkapsel, umschlossen. Der Plasmaanteil außerhalb der Zentralkapsel enthält zahlreiche gasgefüllte Vakuolen, wodurch das Schweben ermöglicht wird. Das Skelett kann sehr vielfältig gestaltet sein. Oft liegen regelmäßig gebaute Gitterschalen oder Gitterkugeln ineinander. Durch die Poren derselben werden Plasmafüßchen, Pseudopodien, strahlenförmig in dünnen Fäden ausgesandt. Radiolarien leben im Schlamm der heutigen Meere. Ihre Skelette finden sich in geologischen Ablagerungen, wo sie beteiligt sind an der Gesteinsbildung früherer Erdperioden.

Ciliaten (Wimpertierchen). Infusorien. Urtierchen, die sich mittels Cilien und Zirren (schwingende Plasmafortsätze) bewegen und ihre Nahrung herbeistrudeln. Sie haben im Gegensatz zu den Amöben eine dauernde Körperform, ge-

ben durch eine elastische Haut (Pellicula), kontraktile Vakuolen und zwei Kerne, einen vegetativen und einen generativen. Es gibt freischwimmende Formen, z.B.: Paramaecien (Pantoffeltierchen), Stylonichia (Muscheltierchen), DiJeptusaner, siehe Bildtafel I/22 Euplotes, und festsitzende Formen, z. B. Vorticella (Glockentierchen), Stentor (Trompentierchen), Thauricola folliculata (Tafel I/23).

Quarz: Aus Kieselsäure bestehendes gesteinsbildendes Mineral von weiter Verbreitung. Hauptgemengeteil magmatischer (Granit), kristalliner (Gneis) und sedimentärer Gesteine (Sandsteine).

Radiolarien: Strahlentierchen. Siehe Protozoen.

Radiolarienskelett: Siehe Protozoen, Radiolarien.

Ramie: Boehmeriafaser, Chinagras. Gehört in die Verwandtschaft der Brennessel und ist in Ostasien beheimatet. Aus den Stengeln wird der Bast, die Rohfaser, gewonnen, die als „Chinagras“ bezeichnet wird.

Rohes Chinagras wird zur Herstellung von festen und dauerhaften Bindfäden, Stricken, Seilen, Netzen u. a. verwendet. Für Spinnzwecke erfährt die Rohfaser eine spezielle Nachbehandlung, die sie weich macht und ihr eine blendend weiße Farbe und seidigen Glanz verleiht. Diese Aufbereitung heißt „Kolonisieren“.

Raphiden: Ablagerungen von Calciumoxalat in der Pflanzenzelle in Gestalt von Kristallnadeln, die meist zu Bündeln vereinigt sind.

Rhabditis: Siehe Nematoden.

Rhizopoden: Wurzelfüßler. Siehe Protozoen.

Rotaria vulgaris (Rotifer): Siehe Rotatorien und Bildtafel III, Mitte.

Rotatorien: Rädertierchen. Niedere Würmer. Zur Fortbewegung und zum Einstrudeln der Nahrung dient ein Wimperapparat (Räderorgan), das Kopf und Mund umgibt. Der Körper ist von einer festen Cuticula bedeckt, die am Rumpf oft panzerartig verstärkt ist. Oft wird eine gallertige Hülle abgesondert, die durch eingelagerte Fremdkörper den Anschein eines Gehäuses erweckt. Rotatorien besitzen nur eine primäre Leibeshöhle. Die Fortpflanzung erfolgt teils parthenogenetisch (ohne Männchen) (*Rotaria vulgaris*), teils sind beide Geschlechter ausgebildet und an der Fortpflanzung beteiligt, bei den weitaus meisten Arten aber erfolgt häufig ein Generationswechsel. Es gibt fußlose Arten: *Pedalia*, *Keratella* (Löffeltierchen) und solche mit beweglichem Fuß, der mit Klebdrüsen zur Befestigung an den Pflanzen versehen ist. Im Plankton kommen besonders die Gattungen *Brachionus* (Wappentierchen), *Asplanchna* und *Synchaeta* vor. Rotatorien ernähren sich von Algen und Detritus sowie von kleinen Tieren bis zur Größe von Planktonkrebsen, sowie von Zellsaft der angestochenen Pflanzen. Bei ungünstigen Lebensbedingungen verfallen sie in einen Starrezustand mit völlig eingestelltem Stoffwechsel. So überdauern sie jahrelange Trockenheit und Temperaturen bis -270° C. In diesem Zustand werden sie leicht vom Winde verweht. Deswegen sind sie über die ganze Erde verbreitet. Bei Befeuchtung leben sie wieder auf.

Ruderalpflanzen: An Jaucherinnsalen, Dungstätten und auf stickstoffreichen Schutthalden wachsende Pflanzengesellschaft, z. B. *Chenopodium* (Melden) und Brennessel. Sie können Ammoniak als Stickstoffquelle verwerten.

Salicornia herbacea: Halophyt, der bei der Verlandung schlickreicher Wattenmeere eine wichtige Rolle spielt.

Saponine: Pflanzliche Inhaltsstoffe. Glucoside, die mit Wasser ähnlich wie Seife schäumen. Viele Heilpflanzen, z. B. die Schlüsselblume, Spinat und das Seifenkraut enthalten Saponine. Das Seifenkraut (*Saponaria*) hat davon den Namen.

Saprobier: Mikro- und Kleinlebewesen, die in faulenden Stoffen leben. Je nach Zustand des Bodens, den sie besiedeln, teilt man sie ein in Polysaprobier, Mesosaprobier und Oligosaprobier.

Polysaprobier sind typische Faulbodenbewohner. In Böden, in denen sich Fäulnisprozesse (Reduktions- und Spaltprozesse) abspielen, ist Sauerstoff nur in kleinsten Mengen oder gar nicht vorhanden. Die Sauerstoffzehrung solcher Böden ist sehr hoch. Meist tritt auch Schwefelwasserstoff auf. Die Polysaprobier sind dieser Situation angepaßt. Sie sind anaerobe, gegen Fäulnisgifte unempfindliche, oft bakterienfressende Lebewesen. Leitorganismen sind z. B. Schwefel- und Eisenbakterien, Vibriolen, Bacterium mycoides, Sarcinen, Spirillen, Streptococcen, Staphylococcen, Paramaecium putrinum, Amoeba chlorochlamys, Oscillatoria formosa, Navicula putrida, Fusarium spec., Mucor racemosus u. a.

Mesosaprobier treten dann auf, wenn in Böden zwar noch Reduktionsprozesse ablaufen, aber die Sauerstoffverhältnisse schon relativ günstig liegen, d. h. die Sauerstoffzehrung nur noch höchstens 50% beträgt. (In Gesundung begriffene Faulböden.) Neben noch vielen Bakterien und bakterienfressenden Mikroorganismen sind u. a. Leitorganismen die Blaualge Oscillatoria formosa und die Diatomeen Nitzschia und Hantzschia.

Oligosaprobier sind Rheinbodenorganismen, welche gegen Fäulnisstoffe sehr empfindlich sind. Es handelt sich durchwegs um Aerobier. Sie treten nur im sauerstoffreichen, gut durchlüfteten Boden auf.

Saprophyt: Fäulnisbewohner. Heterotrophe (nicht assimilierende) Pflanzen, die sich von abgestorbener organischer Substanz ernähren, z. B. Bakterien, Pilze; unter den höheren Pflanzen Fichtenspargel, Nestwurz, einige Orchideen usw. Dabei gibt es zwischen blattgrünfreien und grünen Pflanzen Obergänge (Halbsaprophyten),

Sarcina: Gelbe Kokken, in Paketform. Siehe Bakterien.

Savanne: Baumsteppe. Charakteristisch für die Übergangsgebiete von Steppe zum Wald. Steppe mit einzelnen oder gruppenweise stehenden Bäumen oder Büschen. Besonders in Afrika südlich der Sahara.

Scenedesmus: Zieralge. Grünalge.

Sclerotinia: Pilz. Kommt in 14 Gattungen vor, fast alle Parasiten auf Beeren, Blättern und Wurzeln unserer Kulturpflanzen. Sclerotinia sclerotiorum tritt häufig in feuchten Böden auf Wurzeln von Raps, Runkelrüben, Rettich, Bohnen, Hanf und in den Stengeln von Kartoffelkraut als Pflanzenschädling auf.

Schelf: Küstennahes Meeresgebiet bis etwa 200 m Tiefe. Oberflutete Teile der Kontinentsockel, auf denen sich Trans- und Regressionen bemerkbar machen.

Schlick: In küstennahen Zonen abgelagerte Sinkstoffe des Meeres.

Sedum: Fetthenne. Dickblattgewächs.

Silikate: Kieselsäureverbindungen. Machen einen wesentlichen Teil der Erdrinde aus. Silikatgesteine sind z. B. Granit, die Feldspate und Glimmerarten. Auch die Tone bauen sich aus Silikaten auf.

Sporen: Dauerform von Bakterien. Ungeschlechtlicher einzelliger Keim. Sporen werden gebildet bei Pilzen durch Abschnürung nach außen als Exosporen (Konidien), durch Abschnürung im Innern von Sporenbehältern (Sporangiensporen) bei Algen, Pilzen, Moosen und Farnen. Für die notwendige Fortbewegung im Wasser sind die Sporen oft begeißelt (Zoo- oder Schwärmsporen).

Spurenelemente: Metallische Elemente (z. B. Bor, Eisen, Jod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink), welche bereits in geringsten Konzentrationen auf stoffwechselphysiologische Vorgänge in Pflanze, Tier und Mensch einen steuernden Einfluß

ausüben. Ihr Fehlen führt zu Mangelkrankheiten. So hat Mangel an Bor die Herz- und Trockenfäule der Zuckerrüben zur Folge, Manganmangel ist die Ursache der Dörrfleckenkrankheit des Hafers. Die Lecksucht des Rindes ist auf Kupfermangel zurückzuführen.

Staphylococcus: Eitererreger. Siehe Bakterien A. Familie Micrococcaceae.

Steppe: Weite, meist dem Wind ausgesetzte, unter sommerlicher Trockenheit leidende Gebiete mit feinerdigen Böden (schwarze Erde, Salzböden) und einförmigem Bewuchs, wonach die Steppen benannt werden. Salzsteppe (mit Salzpflanzen), Grassteppe (Prärie, Pampa), Krautsteppe (Gebüsch), Waldsteppe (Savanne).

Stentor: Trompetentierchen. Siehe Protozoen, Ciliaten.

Streptothrix: Strahlenpilz. Siehe Actinomycetales.

Stylonichia: Muscheltierchen. Siehe Protozoen, Ciliaten.

Solanaceen: Nachtschattengewächse (z. B. Kartoffel, Tomate, Tabak, Tollkirsche).

Surirella: Siehe Diatomeen.

Symbiose: Zusammenleben von Mikroorganismen entweder mit anderen Mikroorganismen (z. B. Pilz und Alge in der Flechte) oder mit einem höheren Wirtsorganismus zum gegenseitigen Nutzen.

Tabellaria fenestrata: Siehe Diatomeen und Bildtafel I/10.

Thermo-Algen: Algen, die in heißen Quellen vorkommen und hohe Temperaturen vertragen.

thermophil: Wärmeliebend.

Trentepohlia: Grünalge. Gesteinsbewohner. Siehe Bildtafel I/7.

Trichoderma: Schimmelpilz.

Ubiquist: Niedere und höhere Pflanzen, die auf der ganzen Welt vorkommen.

Ulothrix: Fadenförmige Grünalge. Siehe Bildtafel I/4.

Umbelliferen: Doldenblütler (z. B. Kümmel, Kerbel, Bärenklau, Schierling usw.).

Vakuolen: Mit Flüssigkeit gefüllte Bläschen im Zellplasma, die sich rhythmisch vergrößern und dabei Flüssigkeit aus dem Plasma aufsaugen und beim Zusammenziehen sich wieder entleeren (kontraktile Vakuolen). Bei den Urtierchen haben sie Organfunktion und heißen Organellen.

Verticillium: Pilz. Erreger von Pflanzenkrankheiten. *V. alboatum* verursacht die Wirtelpilzwelke und Welkekrankheit der Kartoffel.

Vibrio desultricans: Desulfovibrio. Schwefelabbauer. Siehe Bakterien 4.

Virus: Sammelname für kleinste, kugel-, Stäbchen-, Würfel-, quader- oder keulenförmige Krankheitserreger, die durch Bakterienfilter wandern und nur im Ultramikroskop sichtbar sind. Sie sind nur in lebenden Zellen vermehrungsfähig. Es gibt Viruskrankheiten bei Pflanzen (z. B. Mosaikkrankheit des Tabaks usw.), Tier und Mensch.

Vorticella: Glockentierchen. Siehe Protozoen, Ciliaten.

Wurzelfüßler: Rhizopoden. Siehe Protozoen und Bildtafel I/14.

xerophytisch: Trockenheit-liebend.

Zellulose: Siehe Cellulose.

Zirren: Rankenartige Körperanhänge oder umgebildete Gliedmaßen, die als Tastorgane oder Bewegungsorganellen dienen (z. B. bei den Wimpertierchen).

Zoogloea: Durch gemeinsam ausgeschiedene Kolloiddecken verbundene kleine Gruppen von verschiedenen Mikroorganismen, die sich zur Aufschließung organischer oder anorganischer Stoffe zusammentun.

Zyste: Siehe Cyste.