

## WARUM MODELLSUBSTANZEN? EIN BEITRAG ZUR CHEMIE DES HUMUS

Ein Rückblick auf die wechselvolle Geschichte der Erforschung des Humus regt zu mannigfachen Betrachtungen an. In den ersten Anfängen der wissenschaftlichen Bearbeitung (WALLERIUS 1769, VAUQUELEN 1797, THOMPSON 1807, SAUSSURE 1804) waren auch heute noch gültige Erkenntnisse über seine Entstehung aus Pflanzenresten gewonnen worden. In Deutschland wurden vor allem durch Arbeiten von THAER (1821) und SPRENGEL (1826) darüberhinaus schon damals Beiträge zu dessen Physik und Chemie geliefert. Es war die Zeit, in der man begann, durch Verbrennung den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der organischen Verbindungen zu bestimmen, aus diesen Werten den Sauerstoff zu berechnen und Formeln für die Verbindungen aufzustellen. Auch in den nächsten Jahrzehnten verfuhr man in dieser Weise mit einer großen Zahl von sauren Anteilen aus dem Humus, wie Huminsäuren, Krensäuren, Apokrensäuren und solchen, die man mit anderen Namen belegte. In jener Zeit waren die meisten Bearbeiter dieser Fachgebiete vor allem davon überzeugt, daß der Humus die Nahrung für die Pflanzen darstelle. Durch die Arbeiten von SPRENGEL (1837), v. LIEBIG (1840) und BOUSSIGNOULT (1847) über die anorganische Ernährung der Pflanzen verlor die Forschung auf dem Gebiet der organischen Stoffe im Boden an Interesse, trotz vieler Beobachtungen der Einwirkung des Humus auf das Pflanzenwachstum. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde deshalb vorwiegend an der Verbesserung der als Mineraldünger zugeführten anorganischen Nährstoffe gearbeitet. War dies wirklich ein Nachlassen des Interesses an den Arbeiten über Humus oder waren es andere Gründe?

Um diese Frage beantworten zu können, muß man einen Blick auf die Entwicklung der organischen Chemie werfen. Auch in diesem Fachgebiet wollte man zu jener Zeit zunächst für den Menschen wichtige, organische Naturstoffe, wie z. B. Chinin, synthetisieren. Die Konstitutionsaufklärung dieser und anderer Verbindungen gelang jedoch erst viele Jahrzehnte später, nachdem die allgemeinen Grundlagen der organischen Chemie und die Methodik der Bearbeitung derartiger Probleme weiter entwickelt waren. Wie im Falle der organischen Chemie, so waren damals ebenfalls die Methoden für eine Humuschemie noch nicht so weit entwickelt, um zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen.

Aus dem Verlauf der Erforschung des Humus geht deutlich hervor, daß durch die unterschiedlich rasche Entwicklung verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen zeitweise die eine oder andere Richtung bevorzugt wurde. Die Arbeiten von BEMMELN'S z. B. beeinflussten die Erforschung der Huminsäuren in kolloidchemischer Richtung. Um die Jahrhundertwende entwickelte sich die Mikrobiologie. Viele Arbeiten über die Zersetzung von Pflanzenresten wurden deshalb unter dem Blickwinkel dieser Fachrichtung durchgeführt. Die Bedeutung der Mikroorganismen für die Umsetzung organischer Stoffe wurde immer mehr herausgearbeitet und ist auch heute noch Gegenstand vieler Untersuchungen.

Mit der Entwicklung der Biochemie wurde man auf die Beteiligung der Enzymssysteme an den Vorgängen der Verrottung aufmerksam. BERTRAND (1898) stellte die Mitwirkung von oxydierenden Enzymen bei der Umwandlung von Phenolen zu dunkelgefärbten Stoffen fest. Die Bildung huminsäureähnlicher Produkte aus den gleichen Verbindungen durch die Tätigkeit von Mikroorganismen beschrieb FERRIER 1913. Bei den neueren Untersuchungen dieser Richtung konzentriert sich das Interesse dabei nicht nur auf den Umsatz von Verbindungen, sondern auch auf deren verschiedene Abbauprodukte und die an den Reaktionen beteiligten Enzyme.

Wie bei der Bearbeitung zahlreicher hochpolymerer Naturprodukte versuchte man auch, im Falle der Humusstoffe in den Anfängen der Humuschemie und bis in die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts Substanzen herzustellen, die zum Vergleich mit den natürlichen Humusstoffen dienen sollten. Kohlenhydrate und Eiweißstoffe wurden mit Laugen oder Säuren behandelt. Die hierbei entstehenden höhermolekularen, dunkel gefärbten Substanzen besitzen trotz weitgehender Übereinstimmung ihrer physikalischen Eigenschaften jedoch wenig Aussagewert für die Beurteilung des chemischen Aufbaus der Humusstoffe. Ihre Bildung entsprach auch keineswegs den in der Natur möglichen Bedingungen. Den natürlichen Humusstoffen ähnlicher waren Produkte, die durch Oxydation von Polyphenolen, wie Hydrochinon und Brenzkatechin, erhalten wurden, da diese Stoffklasse einige der wichtigsten natürlichen Ausgangsmaterialien enthält.

### Lignin und Humusstoffe; Bedeutung der Modellsubstanzen

Geht man zunächst davon aus, daß das von Mikroorganismen schwer verwertbare Lignin einen wesentlichen Beitrag für die Bildung der Humusstoffe liefert, so können aus den Ergebnissen der Ligninchemie, die gerade in letzter Zeit durch die Anwendung von radioaktiv markierten Verbindungen erhalten worden sind, viele wichtige Anregungen entnommen werden.

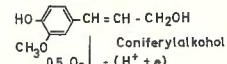
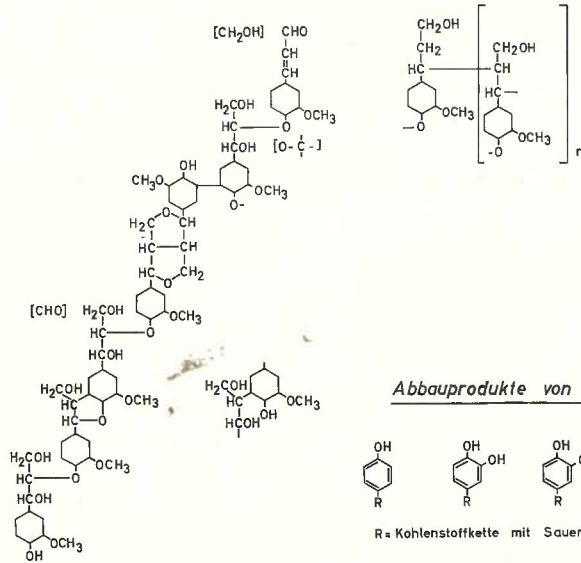
Anhand eines Strukturschemas (Bild 1), wie es ADLER (1957) für diese Verbindungen aus Coniferenholz angibt, und unter Berücksichtigung der weiteren Bausteine des Lignins, des Sinapinalkohols in Laubhölzern und des p-Hydroxyzimmtalkohols in Gräsern, lassen sich Möglichkeiten für die Bildung von Humusstoffen aufzeigen. Beim Abbau des Lignins werden zunächst die Seitenketten durch die Einwirkung von Mikroorganismen in ähnlicher Weise verwertet wie Polyalkohole oder aliphatische Carbonsäuren. Es hinterbleiben dabei Verbindungen, die zum Teil auch aus Stroh extrahiert und aus Böden isoliert werden konnten. Diese substituierten und zum Teil methoxylierten phenolischen Verbindungen unterscheiden sich in ihren Reaktionen von den unsubstituierten Polyphenolen, die für die Herstellung der ersten Modellhuminsäuren verwendet worden sind.

Zum Vergleich mit den möglichen Ligninabbauprodukten wie aber auch zum Vergleich mit vielen

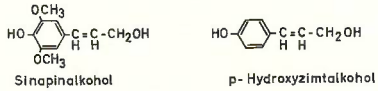
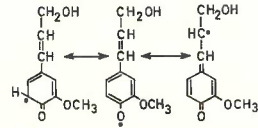
**Strukturschema von Lignin**

**Ligninbausteine**

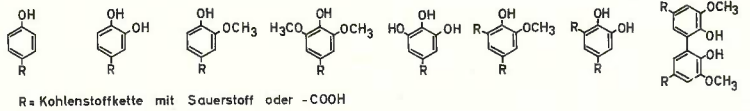
(ADLER 1957)



(FREUDENBERG 1954)

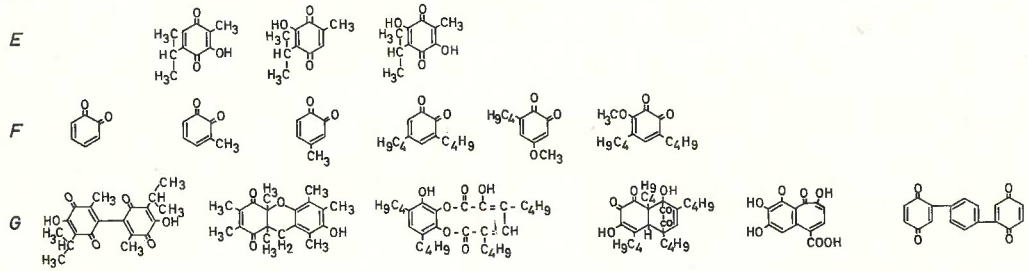


**Abbauprodukte von Lignin**

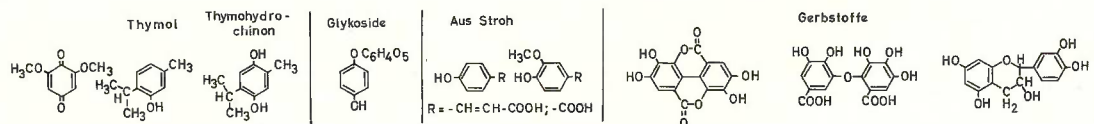


**„Modellsubstanzen“ (— = CH<sub>3</sub>) Säulen 1–9**

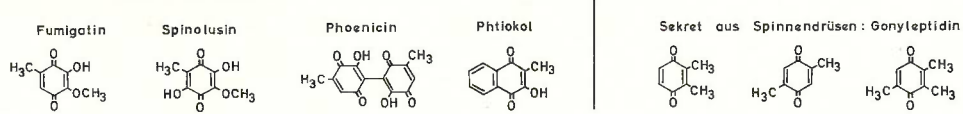
| Reihe | 1                             | 2                               | 3                               | 4                               | 5                               | 6                               | 7                               | 8                               | 9                               |
|-------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| A     | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   |                                 | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   |                                 | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1</chem>   |
| B     |                               | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> |
| C     |                               | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1O</chem>  |
| D     |                               | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> |                                 |                                 | <chem>O=C1C=CC(=O)C=C1OC</chem> |



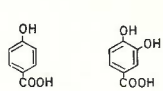
**Pflanze**



**Mikroorganismen**



**Boden**



ferner einige, deren Konstitution noch nicht aufgeklärt ist.

Bild 1: Schema zur Chemie des Humus.

Phenolen bzw. Chinonen, die in Pflanzen und Mikroorganismen vorkommen, haben wir eine größere Anzahl von entsprechend substituierten Chinonen als Modellsubstanzen ausgewählt (Bild 1, Reihe A—G). Unter den aeroben Bedingungen, wie sie meist im Boden bei der Zersetzung pflanzlicher Rückstände vorherrschen, können unter den oxydierten Lignin-Abbauprodukten auch Chinone auftreten. Solche sind die reaktionsfähigsten Verbindungen, die im Laufe der Prozesse als Zwischenstufen entstehen können.

Unter den zum Vergleich für die Reaktionen der Ligninabbauprodukte und in der Natur vorkommenden Chinone herangezogenen Verbindungen befinden sich auch solche, die bei einer fortgeschrittenen Oxydation entstehen. Einige davon besitzen keine Methoxylgruppen. Die von verschiedenen Seiten festgestellte Entmethylierung des sich in den verrottenden Pflanzen befindenden und ebenfalls dem Abbau unterworfenen Lignins, ergab die Notwendigkeit, auch das Reaktionsverhalten derartiger Verbindungen zu untersuchen. Andere entsprechen wieder Phenoläthern, wie sie zum Vergleich mit nachträglich methylierten Ligninabbauprodukten zum Zwecke der Konstitutionsaufklärung dienen können.

Der Aufbau des Coniferenlignins vollzieht sich durch die Kondensation von Coniferylalkohol in Gegenwart von Sauerstoff und Phenoloxidasen. Die Reaktion erfolgt über radikalische, chinoide Zwischenstufen, deren mesomere Grenzformeln von FREUDENBERG (1954) angegeben worden sind (Bild 1). Ähnliche Reaktionen werden während des Abbaus von Lignin auch bei den Spaltprodukten ablaufen, sowohl dann, wenn die Seitenketten noch nicht bis zu Carboxylgruppen oxydiert sind, als auch nach weiterer Oxydation.

Bei der Oxydation entstehen chinoide Verbindungen, bei denen die Kondensation zweier Ringe über eine C-C-Bindung erfolgt. Diese Beobachtung ist nicht nur beim Lignin und anderen Naturstoffen gemacht worden, sondern wird vermutlich in noch ausgedehnterem Maße bei den Abbauprodukten festzustellen sein.

Auch dieser Tatsache ist bei der Auswahl der Modellsubstanzen (Bild 1, Reihe G) Rechnung getragen worden. Bisher sind diese Dimerisationsprodukte in der Chemie der Humusstoffe verhältnismäßig wenig untersucht worden, obwohl sie einen wesentlichen Beitrag zum Aufbau der aus den Ligninabbauprodukten entstehenden höhermolekularen Huminsäuren darstellen können.

Die an wenigen Beispielen aufgezeigten Reaktionsmöglichkeiten der in der Natur sich anbietenden Bausteine für die Humusstoffe lassen eine große Variation dieser Stoffgruppe erwarten. Eine der wesentlichsten Aufgaben in der Humuschemie muß es daher sein herauszufinden, ob nicht die eine oder andere Reaktion bei der Humifizierung organischer Reste im Boden bevorzugt abläuft und sich dadurch die Anzahl der Möglichkeiten verringert.

#### Vergleichende Untersuchungen zur Feststellung des Reaktionsmechanismus

Es sind mit den „Modellsubstanzen“, die möglichst alle Reaktionen berücksichtigen sollen, Versuche durchgeführt worden, um Gesetzmäßigkeiten zu finden. Derartige Untersuchungen laufen zunächst auf analytische Aufgabenstellungen hinaus. Hierfür eignen sich in besonderem Maße spektrographische Untersuchungen im ultravioletten und

infraroten Spektren-Bereich. Diese können dann auch mit den nur in kleinen Mengen isolierbaren, in der Natur entstandenen Substanzen durchgeführt werden. Die Zuordnung einer unbekannt Substanz zu einem bestimmten Verbindungstyp ist mit dieser Methode durch Vergleich möglich (Bild 2). Bei den Ultravioletspektren der verschiedenen Chinone hat sich z. B. gezeigt, daß die Lage und die Extinktion des zweiten Maximums von der Art, der Stellung und der Anzahl der Substituenten abhängig ist. Man kann zwei Gruppen von Verbindungen I und II unterscheiden (Bild 2).

Im Bereich von I liegen bei gleichen Substituenten die zweiten Maxima derjenigen p-Benzochinone, die nicht o-substituiert sind (Bild 1, Säule 2, 4 und 5, Reihe A und D), und im Bereich von II, die o-substituierten (Bild 1, Säule 3, 7 und 9, Reihe A und D). Bei zwei und mehr Substituenten, von denen einer verschieden ist, hängt die Zugehörigkeit zu I oder II davon ab, ob der zweite Substituent sich in o-Stellung zu dem für die Verschiebung maßgebenden Substituenten (OH oder OCH<sub>3</sub>-Gruppe) befindet. Daher liegen die zweiten Maxima der Verbindungen der Säulen 3, 6 und 9, Reihe B und C bei I und die der Säule 8, Reihe B und C bei II.

Ferner lassen sich einige der Regelmäßigkeiten des Zusammenhangs zwischen der Lage der zweiten Maxima und der Extinktion mathematisch erfassen. Diese haben in einigen Fällen bei der Konstitutionsaufklärung dimerer Chinone wertvolle Dienste geleistet.

Die Infrarotspektren der angeführten Modellsubstanzen zeigen neben weiteren Regelmäßigkeiten, die sich aus der unterschiedlichen Art der Untersuchung ergeben, auch ähnliche wie sie bei

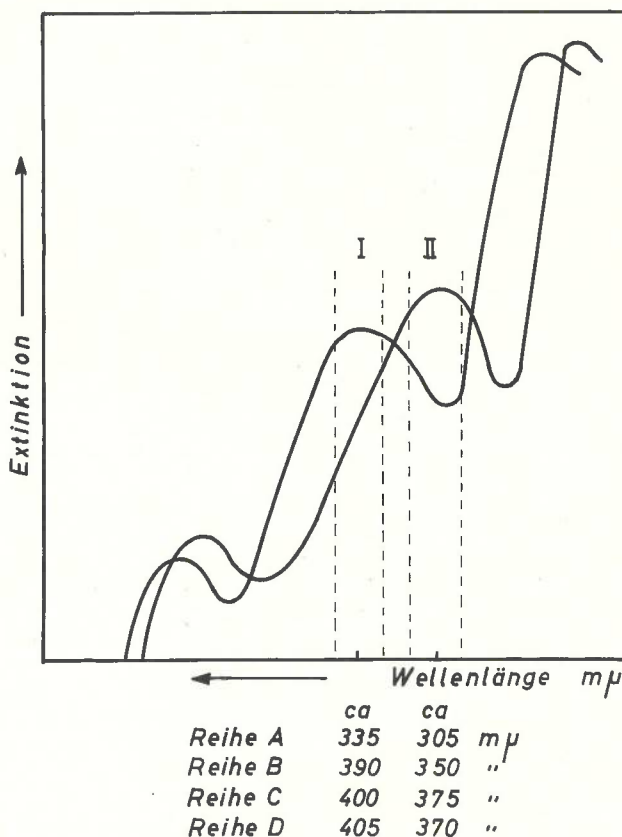


Bild 2: Schematische Darstellung der Gruppenbildung bei den UV-Spektren von p-Benzochinonen.

den Ultraviolettspektren gefunden wurden (Übersicht 1).

Übersicht 1  
Asymmetrische CH - Deformationsschwingungen der Methyl-Gruppen der methyl-substituierten Monomethoxy-p-benzochinone in CCl<sub>4</sub> in  $\mu$  (stärkste Maxima unterstrichen).

| Gruppe                               | I            | II                              |
|--------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| Methoxy-p-benzochinon                | <u>6,84</u>  | 6,93                            |
| 2-Methoxy-3-methyl-p-benzochinon     | 6,789        | <u>6,836</u> <u>6,892</u>       |
| 2-Methoxy-5-methyl-p-benzochinon     | <u>6,846</u> | 6,928                           |
| 2-Methoxy-6-methyl-p-benzochinon     | <u>6,848</u> | 6,923                           |
| 2-Methoxy-3,5-dimethyl-p-benzochinon | 6,801        | <u>6,835</u> <u>6,906</u> 6,972 |
| 2-Methoxy-3,6-dimethyl-p-benzochinon | 6,805        | 6,832 <u>6,917</u> 6,968        |
| 2-Methoxy-5,6-dimethyl-p-benzochinon | <u>6,845</u> | 6,928                           |
| Methoxy-trimethyl-p-benzochinon      | 6,803        | 6,838 <u>6,911</u>              |

Die Maxima der asymmetrischen CH-Deformationsschwingung der Methylgruppen der methylsubstituierten Monomethoxy-p-benzochinone (Reihe B) im Bereich von 6,83  $\mu$  bis 6,93  $\mu$  sind z. B. in ihrer Intensität unterschiedlich, je nachdem, ob diese Substanzen zur Gruppe I (Bild 1, Säule 2, 4, 5 und 8) oder zur Gruppe II (Bild 1, Säule 3, 6, 7 und 9) gehören. Die Verbindungen der Gruppe I haben das stärkste Maximum bei 6,84  $\mu$ , diejenigen der Gruppe II bei 6,91  $\mu$ .

Bei den Ultraviolettspektren hängt die Lage und Extinktion der Maxima mit der Verteilung der Elektronen im Chinonring zusammen, während bei den Infrarotspektren einzelne Gruppen des Moleküls, in dem erwähnten Beispiel die Methylgruppen, für die einzelnen Maxima verantwortlich sind. In der gleichen Ausführlichkeit wurden auch die Redoxnormalpotentiale der verschiedenen Modells-substanzen untersucht. Verschiedene Vorgänge im Stoffwechsel der Organismen sind Oxydationsreduktionsreaktionen, und es muß die Frage diskutiert werden, inwieweit diese durch derartige Substanzen beeinflußt werden.

Wie aus Bild 1 hervorgeht, sind aus dem Boden noch recht wenig phenolische Verbindungen isoliert und identifiziert worden. Nach den heutigen Kenntnissen sind auch nicht viele zu erwarten. Chinoide Verbindungen scheiden wahrscheinlich aus, da sie als sehr reaktionsfähig sich mit anderen umsetzen oder durch Oxydation weiter reagieren. Es sei denn, daß es möglich wäre, sie während ihrer Entstehung mit zugesetzten Verbindungen als definierte Stoffe abzufangen, wie wir es bei der Herstellung von Modells-substanzen unter physiologisch möglichen Bedingungen versucht haben.

Bei phenolischen Substanzen ist die Aussicht für eine Isolierung schon günstiger; doch sind auch diese verhältnismäßig leicht oxydierbar. Die meiste Aussicht auf Erfolg bei der Isolierung besteht bei Phenoläthern. In jedem Falle werden die gesuchten Verbindungen nur in geringen Konzentrationen zu finden sein. Auf Grund ihres Nachweises können jedoch Rückschlüsse auf die Vorgänge bei der Humifizierung gezogen werden.

Bei der Isolierung von definierten Abbauprodukten des Lignins oder Vorstufen von Humusstoffen sind insofern noch zusätzliche Schwierigkeiten zu erwarten, als der Abbau der Pflanzenreste im Boden zum größten Teil durch die Mitwirkung der

Mikroorganismen erfolgt. Dabei entstehen aus den Proteinen reaktionsfähige Stickstoffverbindungen, die zu mannigfachen Additionsreaktionen mit den oxydierten Phenoläthern oder Phenolen fähig sind und auch gleichzeitig zu Polykondensationsreaktionen Anlaß geben.

Derartige Überlegungen führen zu dem Schluß, daß es, ähnlich wie für Lignin, so auch für die Huminsäuren nur möglich sein wird, ein Struktur-schema und keine vollständigen Formeln aufzustellen. Es wird im Falle der Huminsäuren als einem Heteropolykondensat aus verschiedenartigen Verbindungen voraussichtlich jedoch schwieriger sein als im Falle des Lignins, mit einem oder einigen wenigen Bausteinen, wenn es nicht gelingt aufzuzeigen, daß von den verschiedenen möglichen Reaktionen einige ausgeschlossen werden können. Hierzu ist es notwendig, mit Hilfe der Modells-substanzen die verschiedenen Möglichkeiten abzugrenzen.

#### Zum Wirkungsmechanismus auf den Stoffwechsel

Zur physikalischen Chemie der Huminsäuren und damit zu deren indirekten Wirkung auf das Pflanzenwachstum über einen Einfluß auf die Bodeneigenschaften sind zwar von verschiedenen Seiten Beiträge geliefert worden, es stehen aber auch hier noch Fragen offen, zu deren Bearbeitung die vorgenannten Untersuchungen an Modells-substanzen ebenfalls beitragen können.

Die in bestimmten Fällen fördernde Wirkung von Stoffen aus dem Humus und deren Modells-substanzen auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag sind gerade in jüngster Zeit Gegenstand vieler Untersuchungen\*). Verschiedene Änderungen im Stoffwechsel der Pflanze, die zur Erklärung dieser Wirkung beitragen, sind gefunden worden. Da sich aber gezeigt hat, daß andere Verbindungen, z. B. Wuchsstoffe wie Indolyl-3-essigsäure, 2,4-Dichlorphenoxy-essigsäure u. a. die gleiche Wirkung haben können, ohne eine chemische Ähnlichkeit mit den Humusstoffen oder deren Modells-substanzen zu besitzen, suchten wir nach einem allgemein gültigen Wirkungsprinzip.

Die positive oder negative Einwirkung der stoffwechselaktiven Substanzen auf das Pflanzenwachstum hängt in jedem Falle von deren Konzentration ab, d. h. sie können fördernd und hemmend wirken. In bestimmten Konzentrationen wird das Ausmaß der oxydativen Phosphorylierung so geändert, daß verstärktes Wachstum und Atmung festgestellt werden. Die aufgeführten Wuchsstoffe und Modells-substanzen für Humusstoffe entkoppeln die oxydative Phosphorylierung. Wachstum bedeutet eine allgemeine Erhöhung des Stoffwechsels. Für die Neubildung organischer Substanz werden mehr Zwischenprodukte des Stoffwechsels in der Zeiteinheit geliefert. Die entkoppelnde Wirkung der Wuchsstoffe bewirkt zunächst eine Verminderung der oxydativen Phosphorylierung und damit einen erhöhten Gehalt an anorganischem Phosphat in der Zelle. Hierdurch werden Prozesse wie die Glykolyse und der Säurestoffwechsel erhöht und dadurch die synthetischen Prozesse ange-regt. So werden z. B. mehr Verbindungen des Citronensäurecyclus in Aminosäuren für die Proteinsynthese umgewandelt. Diese Steigerung der Syntheseprozesse kann aber nur in dem Maße erfolgen, als die Konzentration des hierfür notwendigen energiereichen Phosphats (Adenosintriphosphorsäure) nicht unter einen bestimmten Wert ab-

\*) Konowa, M. M.: Die Humusstoffe des Bodens. — VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1958, S. 99.

sinkt. Die wachstumsfördernden Konzentrationen hängen von verschiedenen Faktoren ab. Die chemische Konstitution ist z. B. maßgebend für die Beständigkeit der Verbindungen im Zellgeschehen, für die Löslichkeit im Zellsaft und für die Affinität zu den verschiedenen Stoffwechselsystemen. Dadurch können Verbindungen in einem breiteren Konzentrationsbereich das Wachstum fördern, wie z. B. Indolyl-3-essigsäure, andere dagegen nur in einem engeren, wie z. B. in der von uns verwendeten Modells substanz Thymohydrochinon.

Diese Grundlagenforschungen sind notwendig, um für verschiedene Probleme, denen sich die Praxis gegenübergestellt sieht, Unterlagen zu verschaffen. In Deutschland steht die Verwertung von Getreidestroh, in anderen Ländern z. B. die von Erdnußschalen, von Rückständen der Weinbereitung oder von Maisstroh an.

Eine Voraussetzung für die Umwandlung der organischen Stoffe in Humussubstanzen ist die Anwesenheit von durch die Mikroorganismen verwert-

baren Stickstoffverbindungen. Diese Tatsache, zusammen mit den Befunden der älteren Literatur und den vorgenannten über die Beeinflussung des Stoffwechsels der Pflanze durch Humusstoffe, regen dazu an, Stickstoffdüngemittel herzustellen, die einen Teil des Stickstoffs in organischer Bindung enthalten, um unangenehme Begleiterscheinungen der erforderlichen, sehr hohen Gaben ausschließlich ionogen gebundenen Stickstoffs zu vermeiden. Auch in diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen mit den erwähnten Modellsbstanz geradezu unerlässlich.

Zusammenfassend kann man feststellen: Was früher in dem einen oder anderen Falle bei der Bearbeitung des Humus noch als Einzeluntersuchung möglich war, läßt sich heute nur dann mit Erfolg bearbeiten, wenn das Gesamtproblem gleichzeitig unter verschiedenen Gesichtspunkten und in Zusammenarbeit der verschiedenen naturwissenschaftlichen Fachrichtungen in Angriff genommen wird.

Walter Sauerlandt und Otto Graff, Institut für Humuswirtschaft

## DIE STROHDECKE AUF DEM ACKERBODEN

Das Mähdruschverfahren führte zu der arbeitswirtschaftlichen Überlegung, das Stroh nicht mehr insgesamt zu bergen, sondern z. T. als Ersatz für Stallmist an Ort und Stelle liegen zu lassen. Es wird dabei stillschweigend vorausgesetzt, daß das Stroh ähnlich wie ein aus Kot, Harn und Streu aufbereiteter Dünger wirkt. Damit tauchen aber Fragen auf, die einer wissenschaftlichen Klärung bedürfen.

Das Stroh wird in der Praxis entweder eingepflügt oder als Decke aufgebracht. Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf das letztere Verfahren.

Die länger liegende Strohdecke führt zu einer Rotte an Ort und Stelle unter tätiger Beteiligung der Mikroflora und Fauna des Bodens. Der von den Kleintieren mehr oder weniger unverdaute Teil der Nahrung wird mit dem gleichzeitig aufgenommenen Boden vermischt wieder ausgeschieden. Diese Losungsbällchen — eine Bezeichnung nach KUBIENA — bleiben zurück. An ihrer Form und Zusammensetzung lassen sich die beteiligten Tiergruppen erkennen.

Bild 1 zeigt derartige Losung im Innern eines Strohhalmes, wobei mineralreichere und mineralärmere Ablagerungen zu erkennen sind.

Die Strohverarbeitung auf dem Acker ist also mit einem Transport von Boden in die Strohdecke

durch Kleintiere verbunden, wobei der Boden sowohl auf dem Stroh als auch innerhalb der Halme abgelegt wird. Dabei werden beträchtliche Mengen von Boden bewegt.

Die Versuche wurden in Mulchrahmen durchgeführt (1) (Übersicht 1).

Unter Abzug des der Zersetzung der organischen Masse entsprechenden prozentualen Anstiegs der Mineralanteile wurden bis Mitte August 1,56 g, bis Mitte Oktober jedoch 17,43 g Bodenteile in das Stroh befördert. In dem ungleich höheren Wert im Oktober kommen die günstigeren Lebensbedingungen der Bodenkleintiere im Herbst zum Ausdruck. Wie aus Bild 2 abzulesen ist, führt die

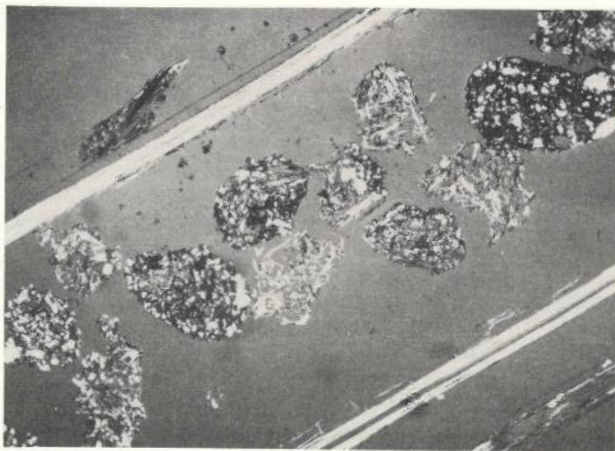


Bild 1: Kotkrümel von Kleintieren innerhalb eines Weizenstrohhalmes. Dünnschliff, M 20 : 1\*).

\*) Die Dünnschliffe und Aufnahmen der Bilder 1, 2 und 3 sind durch Dr. ALTEMÜLLER, Institut für Bodenbearbeitung der FAL, erstellt.

### Übersicht 1

Inhalt an organischer Substanz und Mineralteilen je Mulchrahmen (ca. 0,2 m<sup>2</sup>)

| Datum der Untersuchungen | Organische Substanz |         |      |          | Mineralteile |       |
|--------------------------|---------------------|---------|------|----------|--------------|-------|
|                          | g/Rahmen            | Verlust |      | g/Rahmen | Zunahme      |       |
|                          |                     | g       | %    |          | g            | %     |
| Zu Beginn: 17. 5. 57     | 92,14               | —       | —    | 7,35     | —            | —     |
| 30. 7. — 10. 8. 57       | 71,08               | 21,06   | 22,9 | 18,94    | 11,59        | 157,7 |
| 1. 10. — 22. 10. 57      | 59,05               | 33,09   | 35,9 | 34,77    | 27,42        | 373,1 |