

(Aus der Bundesanstalt für alpine Landwirtschaft in Admont, Steiermark.)

Biologisch-chemische Untersuchungen über Humusbildung durch Bodentiere.

Von

H. Franz und L. Leitenberger.

I. Einleitung.

Schon *H. v. Post* und *P. E. Müller* haben erkannt, daß Bodentiere bei der Humifizierung pflanzlichen Bestandesabfalles eine bedeutende Rolle spielen. Erst in den letzten Jahrzehnten hat man jedoch der humusbildenden Tätigkeit dieser Kleintiere größere Beachtung geschenkt. Eine Reihe von Untersuchungen, vor allem solche von Waldböden (vgl. *Bornebusch*, *Fourman*, *Lindquist*, *Romel*, *Soudek*, *Trägardh*, *Ulrich* und *Wittich*) hat gezeigt, daß den Bodentieren für die Humusproduktion aus pflanzlichen Abfallstoffen eine ganz ungeheure Bedeutung zukommt, ja, daß die humose Oberschicht vieler Waldböden so gut wie ausschließlich koprogener Natur ist.

Fallaub und moderndes Holz dienen zahlreichen Bodentieren als Nahrung, werden von ihnen bei der Nahrungsaufnahme zerkleinert und sodann auf dem Wege durch den Verdauungskanal physikalisch und chemisch weiter aufbereitet, um schließlich teils bis zu Endprodukten des Stoffwechsels abgebaut, teils in weitgehend humifizierter Form als Exkremeute ausgeschieden zu werden. Viele der Bodentierarten, die in Waldböden als Humusbildner tätig sind, finden sich neben anderen Tierformen in Grünland- und Ackerböden wieder, worauf vor allem durch *Franz*, *Frenzel* und *Morris* hingewiesen worden ist, und es muß daher angenommen werden, daß auch in diesen Böden Humusbildungsvorgänge ähnlicher Art vor sich gehen. Für die Zersetzung pflanzlichen Abfalles in Rasengesellschaften auf Rendsinaboden hat *Kubierna* eine

wesentliche Mitwirkung von Kleintieren eindrucksvoll nachgewiesen. Selbst im Stallmist und Kompost leben zahllose Kleintiere (vgl. *Franz* sowie *L. Meyer*) und es steht heute fest, daß eine rasche Humifizierung organischer Wirtschaftsdünger ohne Mitwirkung dieser kleinen tierischen Lebewesen nicht zu erreichen ist.

Bei der großen Bedeutung, die dem Humus einerseits für den physikalisch-chemischen Bodenzustand und andererseits für das Bodenleben als Nährstoffgrundlage zukommt, ist der humusbildenden Tätigkeit der Kleintiere größte wirtschaftliche Bedeutung beizumessen. Es ist daher erstaunlich, daß bisher über die Humusbildung durch Kleintiere exakte Untersuchungen weder in biologischer Richtung in Form quantitativer Fütterungsversuche, noch auch in chemischer Richtung in Form einer vergleichenden chemischen Analyse der den Tieren zur Verfügung stehenden organischen Nahrung und der von ihnen daraus gebildeten Exkremente durchgeführt wurden.

Die eingehenden Untersuchungen über die Zersetzung bestimmter Bestandesabfallarten durch *Nömmik*, *Wittich* und *Süchting* haben nur die Gesamtzersetzung bestimmter Waldstreuarten zum Gegenstande, ohne die Leistungen der Kleintiere bei derselben für sich zu untersuchen. *Süchting* untersuchte sogar die Zersetzung der Streu unter der möglichsten Ausschaltung von Bodentieren, wengleich er die Mitwirkung kleinster Vertreter der Bodenfauna wie Nematoden, Collembolen, Milben bei diesen Streuzersetzungsversuchen wohl nicht hat verhindern können. *L. Meyer* hat im Rahmen eines Versuches zur Strohkompostbereitung die maßgebliche Mitwirkung von Regenwürmern, wohl *Eisemia foetida*, bei der Humifizierung des Strohkompostes festgestellt und die Regenwurmkremente einer eingehenden chemischen und physikalischen Untersuchung unterworfen. Exakte Laboratoriumsversuche hat auch er noch nicht durchgeführt.

Wir haben darum schon im Jahre 1942 (vgl. *Franz*) damit begonnen, mit einzelnen Bodentierarten exakte Fütterungsversuche im Laboratorium durchzuführen und dieselben chemisch zu verarbeiten. Wir gingen dabei so vor, daß wir bestimmte Bodentierarten im Laboratorium in quantitativen Fütterungsversuchen mit Fallaub einer Gehölzart, Heu einer Grasart, Stroh einer Getreideart, Stallmist bzw. morschem Holz fütterten und die gewonnenen Exkremente sowie den Rückstand an unverbrauchtem Futter auf

ihren Gehalt an Humus und Humusvorstufen untersuchten. Die Verwendung frischen pflanzlichen Materiales, welches noch keinem bakteriellen oder pilzlichen Rotteprozeß unterworfen war, gestattete es bei den meisten Fütterungsversuchen, die Leistungen der gefütterten Tiere für sich allein festzustellen. Die Mitwirkung von Bakterien und Pilzen kam bei den beobachteten Humifizierungsvorgängen nur soweit in Frage, als dieselbe während des Verdauungsprozesses der Tiere in deren Verdauungstrakt selbst sich abspielte.

Unsere Untersuchungen fanden im November 1942 durch die vorübergehende Einziehung des einen von uns, *L. Leitenberger*, zum Wehrdienst eine längere Unterbrechung und konnten auch nach dessen Rückkehr infolge der wachsenden kriegsbedingten Schwierigkeiten nur mehr in beschränktem Umfange weitergeführt werden. Wir entschlossen uns dann im Jahre 1944, als ein gewisser Abschluß der Arbeiten erreicht war, zur Veröffentlichung der Ergebnisse in der vorliegenden Form. Daß die Arbeit erst jetzt, vier Jahre später, erscheint, ist dadurch bedingt, daß das Originalmanuskript beim Verlag in Deutschland vor Drucklegung durch Kriegseinwirkung zugrunde ging und es sehr lange brauchte, bis wir in Erfahrung bringen konnten, ob es noch zur Veröffentlichung gelangt war oder nicht.

Es sei erwähnt, daß unsere Untersuchungen durch die bodenbiologischen Forschungen des einen von uns, *H. Franz*, veranlaßt worden sind. Sie verteilen sich in der Weise auf die Verfasser, daß *H. Franz* auf Grund der sich aus seinen Vorarbeiten ergebenden Fragestellung im Laboratorium für Boden- und Standortforschung der Bundesanstalt in Admont die Fütterungsversuche sowie die Beobachtung und Bestimmung der Versuchstiere durchführte, während *L. Leitenberger* im chemischen Laboratorium der genannten Anstalt die chemische Untersuchung und Auswertung des in den Fütterungsversuchen gewonnenen Materiales bewerkstelligte. Bei der Betreuung der Fütterungsversuche leistete *Frl. F. Limmer*, bei den chemischen Analysen *Frau B. Opl* wertvolle Hilfe. Für die Durchführung der chemischen Untersuchungen gab uns *Herr. Reg.-Rat Dr. U. Springer* (München) viele wertvolle Ratschläge und Hinweise, wofür wir ihm auch an dieser Stelle unseren herzlichen Dank aussprechen möchten.

II. Methodisches.

Zur Gewinnung des für die chemischen Analysen verwendeten Materiales wurden, wie bereits erwähnt, im Laboratorium einzelne Bodentierarten jeweils in größerer Individuenzahl mit bestimmten pflanzlichen Bestandesabfallstoffen gefüttert. Die Tiere wurden zu diesem Zwecke vor Beginn des Fütterungsversuches durch zwölf bis vierundzwanzig Stunden im Laboratorium ohne jegliches Futter gehalten, um so zu erreichen, daß sie alle Exkreme, die noch von der Nahrungsaufnahme vor Versuchsbeginn herrührten, auch vor diesem aus ihrem Verdauungstrakt entleerten. Erst dann wurden die Tiere in

runde Glasschalen von 15 bis 20 cm Durchmesser und 8 bis 10 cm Höhe gebracht und mit einer gewogenen Menge eines bestimmten Futters wie Fallaub, Heu, Stroh und in einzelnen Fällen auch mit frischer Pflanzenmasse gefüttert. Der Trockensubstanzgehalt des Futters wurde jeweils vor Versuchsbeginn festgestellt, indem eine größere Menge des gleichen Futters, welches im Versuch zur Verwendung kam, im chemischen Laboratorium drei Stunden bei 150° C getrocknet wurde. Eine Trocknung der Futtermenge selbst, die den Tieren im Versuch verabreicht wurde, bei entsprechend hoher Temperatur und eine Wiederanfeuchtung bei Versuchsbeginn, erwies sich als undurchführbar, da unter Einwirkung höherer Temperaturen in den Futterstoffen chemische Veränderungen eintreten, die den Tieren das Futter schlecht bekömmlich machen und außerdem möglicherweise den Zersetzungsprozeß während der Verdauung beeinflussen.

Da alle Bodentiere ein hohes Feuchtigkeitsbedürfnis haben, mußte bei den Versuchen darauf geachtet werden, daß die Tiere stets entsprechend feucht gehalten wurden und daß auch das Futter stets gleichmäßig feucht blieb. Zu diesem Zwecke wurde das gewogene Futter vor Versuchsbeginn mit destilliertem Wasser gründlich durchfeuchtet und erst dann quantitativ in die Versuchsschalen gebracht, worauf diese mit den Versuchstieren besetzt und mit einem Glasdeckel abgedeckt wurden. Bei der Versuchsdurchführung zeigte es sich, daß in die Glasschalen eine Unterlage gebracht werden mußte, die geeignet war, die überflüssige Feuchtigkeit aus dem Futter und auch die flüssigen Ausscheidungen der Tiere aufzunehmen. Filtrierpapier erwies sich als Unterlage deshalb als ungeeignet, weil es von den Versuchstieren in den meisten Fällen benagt wurde, worauf sich dann Filtrierpapierreste deutlich erkennbar in den Exkrementen wiederfanden. Wir gingen darum dazu über, den Boden der Versuchsschalen mit einer eingewogenen Menge vor Versuchsbeginn angefeuchteten, chemisch reinen, geglähten Seesandes zu bedecken, was sich auch insofern bewährte, als es so möglich war, die Tiere dauernd bei gleichmäßiger Feuchtigkeit zu halten und ihnen soweit natürliche Bedingungen zu bieten, daß ihre Freßlust nicht beeinträchtigt war. Allerdings brachte die Verwendung dieser Unterlage die Unannehmlichkeit mit sich, daß die Tiere im Sande wühlten, Futterteilchen und Exkremente mit dem Sande vermengten und eine reinliche Trennung der Sandpartikel von beiden nach Versuchsabschluß unmöglich machten. Auf die dadurch bedingten Schwierigkeiten bei der chemischen Analyse kommen wir an späterer Stelle noch zurück. In einzelnen Fällen, vor allem bei den mit Regenwürmern durchgeführten Versuchen, mußte an Stelle des reinen Seesandes ein Gemisch von Seesand und Kalkmontmorillonit, fein gemahlen, im Verhältnis 5 : 1 verwendet werden. Die Würmer, die bekanntlich für den Ablauf ihrer Stoffwechselvorgänge des Kalkes bedürfen, gediehen bei Zusatz reinen Seesandes nicht, während sie sich bei Verwendung des Sand-Montmorillonit-Gemisches offenbar recht wohl fühlten. Im Gegensatz zu den anderen Bodentieren, die fast durchwegs nur die ihnen dargebotene organische Nahrung verzehrten, nahmen Lumbriciden und Enchytraeiden in großen Mengen auch anorganisches Material in sich auf, vermengten dieses mit den verzehrten organischen Stoffen und schieden dementsprechend organi-

sche und anorganische Substanz in inniger Vermengung in ihren Exkrementen aus.

Bei den quantitativen Fütterungsversuchen wurde in den Versuchsprotokollen stets die Zahl der Versuchstiere sowie das Datum des Versuchsbeginnes und Versuchsabschlusses genau vermerkt. Dadurch war es möglich ein Bild davon zu gewinnen, wieviel ein einzelnes Individuum an Futter verzehrte und an Exkrementen von sich gab. Da die Versuchstiere, besonders die kleinen Arten, gewichtsmäßig nur sehr geringe Mengen von Exkrementen erzeugen und die für die chemische Analyse erforderlichen Mengen darum auch bei Verwendung einer entsprechend großen Zahl von Versuchstieren nur nach einer Versuchsdauer von mehreren Wochen, ja bis zu drei Monaten, gewonnen werden konnte, kam es immer wieder vor, daß einzelne Versuchstiere während des Versuches zugrunde gingen oder auch durch Vermehrung junge Tiere zusätzlich in den Versuchen auftraten. Auch dies wurde jeweils vermerkt und die Leistung der Tiere beim Futtermverzehr und bei der Abgabe von Kot auf die durchschnittliche Zahl erwachsener Tiere berechnet. Tote Tiere wurden stets gleich aus der Versuchsschale entfernt.

Um für gewisse chemische Untersuchungen die erforderlichen Mengen an Kleintierexkrementen zu gewinnen, wurden in der Mehrzahl der Fälle neben den quantitativen Fütterungsversuchen auch solche ohne genaue Ermittlung der Freibleistung der einzelnen Tiere durchgeführt. Auch bei den rein qualitativen Versuchen ließen wir aber die Versuchstiere stets vor Beginn des Versuches hungern und gaben ihnen Futter der gleichen Beschaffenheit und Herkunft wie im quantitativen Versuch. Erwähnt sei noch, daß wir bei den quantitativen Versuchen nach Versuchsschluß die Tiere noch 24 Stunden in der Gefangenschaft hungern ließen und die während dieser Zeit von ihnen ausgeschiedenen Exkremente noch dem Versuche beifügten.

Die quantitative reinliche Trennung von Restfutter und Exkrementen verursacht sehr viel Mühe und Zeitaufwand, die beide umso größer sind, je kleiner die Versuchstierart ist. Aus diesem Grunde wurde auch bei unseren Versuchen vorerst auf die Fütterung von Milben, Collembolen und Nematoden verzichtet, obwohl uns klar ist, daß auch diesen Tieren bei der Bestandesabfallzersetzung und Humusproduktion größte Bedeutung zukommt.

Die große Sandmenge (100 bis 150 g), die quantitativen Fütterungsversuchen als Unterlagematerial beigegeben werden mußte, erschwerte die chemische Auswertung ungemein. So war es aus apparativen Gründen bei der Azetyl-bromidbehandlung nicht möglich, vom Gemisch aus Sand und Exkrementen mehr als 10 Gramm anzusetzen. Diese 10 Gramm Einwaage enthielten nun bei manchen Versuchen weniger als 0,03 g an gesamtorganischer Substanz. Die Genauigkeit in der Bestimmung des Zersetzungsgrades bei den quantitativen Versuchen war dementsprechend begrenzt. Wir haben deshalb auch die gewonnenen Werte durch Analyse in zusätzlichen qualitativen Fütterungsversuchen gewonnener größerer Mengen reiner Exkremente nachgeprüft. Dabei ergab sich allerdings in den meisten Fällen eine befriedigende Übereinstimmung. Selbstverständlich war es auch unmöglich, das Gemisch Sand-Exkremente nach kolorimetrischen Methoden zu untersuchen. Selbst in qualitativen Fütte-

rungsversuchen kann man an reinen Exkrementen bei den meisten Tierarten gewichtsmäßig selbst nach wochenlanger Fütterung nur Mengen von einigen Zehntel Gramm zusammenbekommen, weshalb wir, um Substanz zu ersparen, auf eine Bestimmung der azetylbromidunlöslichen Substanz nach Säurevorbehandlung verzichten mußten. Es war dies vertretbar, da diese Feststellung im Zusammenhange mit der Fragestellung dieser Arbeit nicht allzu wesentlich war, weil ja die an Basen gebundenen Humusvorstufen ähnliche Aufgaben wie der Dauerhumus im Boden erfüllen können und schließlich im Laufe ihrer Umwandlung Dauerhumus bilden.

Zu Anfang unserer Arbeiten haben wir umfangreiche Untersuchungen über die Azetylbromidunlöslichkeit der verschiedenen von uns als Futter verwendeten pflanzlichen Abfallstoffe angestellt. Der Vergleich der von uns gewonnenen Resultate mit den von *U. Springer* (und briefl. Mitt.) angegebenen zeigte uns, daß die gewonnenen Werte in ziemlich weiten Grenzen schwanken. Obwohl uns bewußt ist, daß dies zum Teil eine Folge verschiedener Standortseinflüsse auf die betreffenden Pflanzen sowie einer verschieden langen Lagerung der Bestandesabfallstoffe ist, schien es uns doch wichtig, diese Frage eingehender zu untersuchen. Dabei stellte sich heraus, daß bei Verwendung von Azetylbromiddestillaten bedeutend tiefere Werte für den Zersetzungsgrad der untersuchten Substanzen gewonnen werden als bei Verwendung von Azetylbromid gereinigt. Weiter ist es bei Verwendung verschiedener Destillate meist nicht möglich, eine Fehlergrenze von $\pm 2,5\%$ einzuhalten. Wir haben daher bei der Auswertung der qualitativen Versuche soweit als möglich die Menge an azetylbromidunlöslicher Substanz sowohl mit Azetylbromid gereinigt, als auch mit Azetylbromiddestillaten bestimmt und beide Werte in Tab. 2 angegeben. Da die Destillate durch wiederholte Verwendung möglicherweise schwankende Mengen Eisessig enthielten, ist es nicht ausgeschlossen, daß dies das starke Absinken der für azetylbromidunlösliche organische Substanz gewonnenen Werte verursacht hat (*U. Springer*).

Wir weisen darauf besonders hin, da bei Nichtachtung dieser Fehlerquelle unkontrollierbare Versuchsfehler entstehen können.

Gab uns die vergleichende Untersuchung der verwendeten Futterstoffe und der durch Verfütterung an die Kleintiere gewonnenen Exkremente Einblick in die durch den Verdauungsprozeß der Tiere hervorgerufenen Veränderungen in Zersetzungsgrad der betreffenden Substanzen, so trachteten wir durch kolorimetrische Untersuchungen ein Bild von den Änderungen hinsichtlich des Grades der Humifizierung zu gewinnen. Es war daher in erster Linie notwendig, die kolorimetrischen Prozente Huminsäure Merk festzustellen. Eine Bestimmung der SrL/L bzw. Oxalat/L Quotienten nach *U. Springer*, die uns wertvolle Aufschlüsse über die Bindungsfestigkeit der Humusstoffe gegeben hätten, mußte wegen Substanzmangels zunächst zurückgestellt werden. Wir hoffen aber in nächster Zukunft von einigen Bodentieren genügend Exkremente sammeln zu können, um die Durchführung weiterer Untersuchungen auch in dieser Richtung zu ermöglichen. Zur Festlegung des Farbtypus der Futtersubstanzen bzw. der daraus gewonnenen Exkremente wurde mit Hilfe des lichtelektrischen Kolorimeters ein Farbquotient bestimmt.

Der zur Verwendung kommende Bestandesabfall wurde zunächst an der Luft vorgetrocknet, sodann im Trockenschrank bei 60 bis 70 Grad nachgetrocknet und in einer Scheibenmühle vorgemahlen. Die Feinmahlung bis auf 0,15 mm machte bei den verwendeten Materialien anfangs Schwierigkeiten, konnte aber dann mit Hilfe einer kleinen Vibrations-Laboratoriumsmühle in überraschend kurzer Zeit durchgeführt werden. Von den zur Aufarbeitung kommenden Exkrementen waren durchwegs so geringe Mengen vorhanden, daß sie restlos in der Achatschale zerkleinert werden mußten.

Die gesamtorganische Substanz der verschiedenen Laubarten wurden nach der Glühverlustmethode bestimmt. In einigen Fällen wurde jedoch auch eine trockene Verbrennung nach Dennstedt durchgeführt, um Anhaltspunkte für den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt dieser Substanzen zu gewinnen. Die Mittelwerte der sehr gut übereinstimmenden Doppelanalysen wurden in Tab. 3 zusammengestellt. Eine Kohlenstoffbestimmung der Exkremente war wegen Substanzmangels leider nur in drei Fällen möglich. Die Bestimmung der gesamtorganischen Substanz der Gemische Sand + Exkremente wurde fast ausnahmslos auf dem Wege der nassen Verbrennung nach den Vorschriften von U. Springer bestimmt. Gleichzeitig wurden auch verschiedene Laubarten nach derselben Methode verbrannt. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß es nach unseren Erfahrungen nicht genügt, den Kolbeninhalt bis zum deutlichen Beschlagen des Kolbenhalses zu erhitzen. Die so gefundenen Werte waren bei kohlenstoffreichen Substanzen fast ausnahmslos zu niedrig. Wurde jedoch die Erhitzung bis zum Auftreten der ersten weißen Nebel fortgesetzt, so zeigten die Werte für die nasse Verbrennung gute Übereinstimmung mit denen der trockenen Verbrennung nach Dennstedt (vgl. Leitenberger).

Die Bestimmung der azetylbromidunlöslichen organischen Substanz wurde nach den Vorschriften von U. Springer durchgeführt. Eine Abänderung wurde nur insofern vorgenommen, als wir die Substanz nicht drei, sondern vier Tage mit Azetylbromid ansetzten. Die Werte zeigten so bessere Übereinstimmung.

Da es einerseits fast ganz ausgeschlossen war, das Restfutter der quantitativen Fütterungsversuche vollkommen vom Sande zu befreien und wir andererseits annehmen konnten, daß der Prozentgehalt an gesamtorganischer Substanz im Restfutter den im Gesamtfutter vor Versuchsbeginn festgestellten annähernd gleich ist, wurden die Glühverlustwerte der Futterreste dazu benützt, um auf reine Substanz umzurechnen.

Die Menge der azetylbromidunlöslichen Substanz wurde im Restfutter nicht bestimmt.

Die kolorimetrische Auswertung der Versuche stieß dadurch auf Schwierigkeiten, daß kein Stufenphotometer zur Verfügung stand. Es wurde deshalb versucht, die Bestimmung der kolorimetrischen Prozente Huminsäure-Merk sowie die Bestimmung eines Farbquotienten mit dem lichtelektrischen Kolorimeter nach Lange durchzuführen. Zur Eichung des Instrumentes wurde ein bereits mehrere Jahre lagerndes Huminsäure-Merk-Präparat verwendet, das sehr wahrscheinlich in seiner Farbkraft schon merklich geschwächt war. Da es sich aber in der Hauptsache um vergleichende Untersuchungen handeln

sollte, war dies ziemlich bedeutungslos. Die Aufstellung von Eichkurven erwies sich als notwendig, da uns keine monochromatische Lichtquelle zur Verfügung stand und daher eine Auswertung nach der Lambert-Beerschen Formel nicht möglich war. Allerdings gelang es unter Verwendung von monochromatischen Lichtfiltern mit einer Wellenlänge von 560 μ , die von *K. S. Gibson* im National Bureau aus mehreren Spezialgläsern zusammengesetzt werden, fast vollkommen gestreckte Eichkurven zu erzielen. Ein Stabilisator und ein zur Pufferung parallel geschalteter Akku befreiten das Gerät weitgehend von Helligkeitsschwankungen und wir konnten so relativ konstante Meßwerte erzielen. Um die Meßgenauigkeit weiter zu erhöhen, wurde nach der Methode erhöhter Empfindlichkeit gearbeitet und zwar so, daß zunächst mit einer Huminsäurelösung vier getrennte Eichkurven nach nachstehendem Schema aufgestellt wurden.

0% Absorption	Wasser	100% Absorption	30% H. M.
0% Absorption	15% H. M.	100% Absorption	60% H. M.
0% Absorption	35% H. M.	100% Absorption	100% H. M.
0% Absorption	60% H. M.	100% Absorption	Verdunklungsklappe

Sodann wurde eine Kontrollkurve aufgenommen, bei der 0% Absorption die eingesetzte Wasserküvette und 100% Absorption der Verdunklungsklappe vorstellten. Auf dieser Eichkurve wurden nun die Werte für die 15, 30, 60 und 100% H. M.-Lösung genau fixiert, sodaß es später jederzeit möglich war, haltbare anorganische Lösungen zu verwenden und diese auch nachzukontrollieren. Durch diese Versuchsanordnung wurde eine verhältnismäßig hohe Ablesegenauigkeit erzielt. Der Empfindlichkeit des Gerätes angepaßt, wurde zur Eichung des Instrumentes eine Lösung, die 0,1 g (= 100%) Liter enthielt, verwendet. Auf einen absolut gleichen pH-Wert sowie auf ein möglichst rasches Aufstellen der Eichkurven wurde geachtet. So war es durch entsprechende Zusammenarbeit möglich, innerhalb von zwei Stunden alle fünf Kurven zu ermitteln. Eine Farbschwächung der Eichlösungen war in dieser verhältnismäßig kurzen Zeit kaum zu erwarten. Ausgewertet wurden jeweils die Extinktionskoeffizienten.

Bei der Durchführung der Versuche selbst wurde in jedem Falle eine Menge, die 0,05 g Trockensubstanz entsprach, mit 200 cm³ 0,5% iger Natronlauge eine Stunde gekocht und sodann auf 500 cm³ aufgefüllt. Die Messung erfolgte unmittelbar nach der Filtration.

Es wurde ferner versucht, wie bereits erwähnt, einen dem Farbquotienten entsprechenden Wert mit Hilfe des Kolorimeters nach Lange aufzustellen. Verwendet wurden die Farbfilter RG 2 und BG 5. Obwohl der so gefundene FQ-Wert eine gewisse Konzentrationsabhängigkeit zeigt, so glauben wir ihn doch für vergleichende Untersuchungen verwenden zu können.

Da sich nach den bisherigen Erfahrungen die Azetylbromidmethode als der genaueste Weg zur Bestimmung der humifizierten Substanz erwiesen hat, so haben wir dort, wo uns wenig Material zur Verfügung stand, getrachtet, in erster Linie diese Untersuchungen durchzuführen. Mangel an Substanz machte es ja leider auch unmöglich, das C/N- bzw. Ch/Nh-Verhältnis (vgl. *F. Scheffer*) der Exkreme zu bestimmen, das uns wertvolle Aufschlüsse darüber gegeben

hätte, ob die von den verschiedenen Bodentieren beim Verdauungsprozeß gebildete Humussubstanz ähnlich enge Grenzwerte aufweist, wie der fertige Bodenhumus. So fand *L. Meyer* bei seinen Untersuchungen an Regenwürmern, daß das organische Ausgangsmaterial bei der Verdauung eine starke Humifizierung unter gleichzeitiger Verengung des C/N-Verhältnisses auf 10/1 erfahren hat. Die bei den quantitativen Versuchen festgestellten Zersetzungsgrade stimmen unter Berücksichtigung der bereits besprochenen analytischen Schwierigkeiten gut mit den Zersetzungsgraden der reinen Exkremeunte überein. Un-erklärlich sind uns lediglich die hohen Werte der Versuche 7 und 8 (Tab. 1) im Vergleich mit den wesentlich niedrigeren entsprechenden Werten der Versuche 8 b und 11 a der Tab. 2. Daß bei den Versuchen, die unter Beifügung geglühten Seesandes durchgeführt wurden, eine Bindung an sich azetylbromid-unlöslicher Substanz an anorganische Substanz erfolgte, kann nicht angenommen werden, da, wie schon erwähnt, bei allen anderen Parallelversuchen ähnliche Unterschiede nicht festzustellen waren. Bloß eine Kontrollanalyse, bei der Weizenhäcksel mit größeren Mengen chemisch reinen Sandes innig verrieben worden war, ergab nach gleicher Behandlung ebenfalls sehr hohe Zersetzungsgrade. Wir vermuten, daß die hohen gefundenen Werte für organische Substanz und Sand daher rühren, daß es nicht gelingt, bei Anwesenheit von feingeriebenem Sand sämtliche azetylbromidlösliche Stoffe sowie alle Zersetzungsprodukte des Azetylbromids quantitativ auszuwaschen. Ein derartiger Fehler mußte gerade bei den Versuchen 7 und 8 der Tab. 1 stärker in Erscheinung treten. Bei diesen lag besonders wenig Substanz zur Untersuchung vor, weil die Versuchstiere das ihnen dargebotene Knaulgrasheu beziehungsweise Weizenstroh ungerne fraßen und dementsprechend wenig Exkremeunte geliefert hatten.

Wie schon von anderen Autoren mehrfach festgestellt, haben auch unsere Versuche, die unter Beifügung von Montmorillonit angesetzt wurden, erwiesen, daß die Anwesenheit von Montmorillonit ein Ansteigen des azetylbromidunlöslichen Anteiles an der untersuchten organischen Substanz bewirkt. Die Durchführung der Analyse dieser Proben war durch die Gegenwart der Montmorillonitsubstanz erheblich erschwert. Die Erschwernisse bestanden in erster Linie in Filtrationsschwierigkeiten. Erst nach Verwendung sehr großer Goochtielgel, die mit verhältnismäßig grobem Asbest präpariert waren, gelang es überhaupt, eine einwandfreie Filtration vorzunehmen und den Rückstand hinreichend gut auszuwaschen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß diese auftretenden Filtrationsschwierigkeiten trotz aller Sorgfalt, vielleicht verbunden mit Azetatfehlern, eine gewisse Überhöhung der gefundenen Zersetzungsgrade bewirkten.

III. Die qualitativen und quantitativen Leistungen der Bodentiere bei der Bestandesabfallzersetzung.

Schon eingangs haben wir hervorgehoben, daß wir in den Fütterungsversuchen den Versuchstieren frische, noch keinem Fäulnis- oder Humifizierungsprozeß unterworfenen pflanzliche Ab-

fallstoffe als Futter verabreicht haben. Dadurch daß wir das Falllaub unmittelbar nach dem Laubfall im Herbst, das Heu und Stroh gleich nach der Ernte einsammelten und im Laboratorium lufttrocken für unsere Versuche in Vorrat hielten, war eine bakterielle Zersetzung dieser Stoffe vor Verfütterung an die Bodentiere praktisch ausgeschaltet. Die von den Tieren ausgeschiedenen Exkreme-mente stellen somit das Produkt der Zersetzung weitgehend frischer pflanzlicher Abfallstoffe mit noch unzerstörten Zellstrukturen dar. Trotzdem zeigt ein Blick auf die Tab. 1 und 2, daß die Tiere das ihnen dargebotene Futter, wie dies ja auch schon der optische Ein-druck der Exkreme-mente erwarten läßt, weitgehend zersetzt haben. Der Vergleich der Zersetzungsgrade von Futter und Exkrementen zeigt bei Falllaub im allgemeinen ein Ansteigen desselben in den Exkrementen auf rund das Doppelte. Bei Verfütterung von Nadel-streu ist der Anstieg etwas geringer, bei Verfütterung frischen Grases, beziehungsweise Klees an Heuschrecken nur gering, wobei jedoch zu beachten ist, daß auch hier nach visueller Betrachtung der Exkreme-mente deren humoser Charakter nicht in Zweifel ge-zogen werden kann. Gerade diese letzte Tatsache ist bodenbiolo-gisch außerordentlich interessant, weil sie zeigt, daß auch die in der Vegetation, also über dem Boden, lebende Kleintierwelt humose Exkreme-mente erzeugt, die auf den Boden fallen und diesem so lau-fend humose Stoffe zuführen.

Für die Beurteilung der Rolle, welche die Bodentiere im Humushaushalt der Natur spielen, war es von besonderer Bedeutung festzustellen, ob die Kleintiere des Bodens aus der ihnen darge-botenen Nahrung humose Stoffe selbständig zu erzeugen vermögen oder ob sie nur die in der Nahrung bereits in Form von Humus-vorstufen vorhandenen Substanzen als für sie unverdaulich in den Exkrementen anreichern. Vermögen nämlich die Bodentiere aus ihnen dargebotener organischer Substanz mehr azetylbromidunlös-liche Stoffe, also Humus im weitesten Sinne, zu erzeugen, als vor dem Verdauungsvorgang im Futter bereits vorhanden war, dann bedeutet dies, daß durch den Verdauungsprozeß humose Stoffe neu gebildet wurden, und weiterhin, daß es bei genauer Kenntnis der Bedingungen, unter denen ein Maximum von Humusstoffen pro-duziert wird, auch möglich sein muß, durch entsprechende Lenkung der Bestandesabfallzersetzung eine Humusanreicherung im Boden künstlich zu bewirken. Unsere quantitativen Versuche, auf Grund

Tab. 1. Ergebnisse der quantitativen Fütterungsversuche.

Versuchsnummer	Versuchsdauer in Tagen	Anzahl der Versuchstiere	Tierart	Art des Futters	Futtereinwaage			Rest futter		Verbrauch bei d. Verdauung		Von der bei der Verdauung verbrauchten Menge org. Substanz entfallen auf die					
					% Trockensubstanz	% org. Substanz (Glühverlust)	g org. Substanz	g org. Substanz	g org. Substanz	g Gesamto rg. Substanz	mg. org. Substanz pro Tier u. Tag	g Gesamto rg. Substanz	mg. org. Substanz pro Tier u. Tag	g Gesamto rg. Substanz	mg. org. Substanz pro Tier u. Tag	Z. G.	mg. Azetylbro mid unlösl. org. Substanz pro Tier u. Tag
1	23	100	<i>Penthetria</i> -Larven	Buchenlaub	1.7648	95.86	1.6917	0.4667	1.225	0.53	0.597	0.26	0.678	0.27	62.2	0.391	0.17
2	14	97	<i>Penthetria</i> -Larven	Grünerlenlaub	2.1370	93.33	1.9944	0.0394	1.955	1.44	1.007	0.74	0.948	0.70	54.0	0.512	0.38
3	—	8	Tipulidenlarven	Erlenlaub	7.4659	95.61	7.1380	5.9550	1.183	—	0.647	—	0.647	—	60.1	0.389	—
4	54	48	<i>Glomeris connexa</i>	Buchenlaub	2.2584	95.86	2.1649	5.000	1.665	0.64	0.686	0.26	0.979	0.38	59.0	0.377	0.22
5	25	35	<i>Glomeris connexa</i>	Hasellaub	1.8068	94.31	1.7036	0.4404	1.263	1.44	0.291	0.33	0.972	1.11	55.9	0.543	0.62
6	102	40	<i>Glomeris connexa</i>	Lärchennadeln	4.6344	93.60	4.3379	0.7507	3.587	0.88	1.198	0.29	0.389	0.59	77.3	1.848	0.45
7	103	50	<i>Glomeris connexa</i>	Knaulgras	1.9313	88.92	1.7173	0.2834	1.434	0.28	0.942	0.18	0.492	0.10	55.2	0.272	0.05
8	96	35	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Weizenhäcksel	2.0230	96.51	1.9524	0.5996	1.363	0.40	1.105	0.33	0.248	0.07	60.7	0.151	0.04
9	48	46	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Buchenlaub	1.7900	95.86	1.7159	0.7993	0.917	0.42	0.235	0.11	0.682	0.31	64.2	0.348	0.20
10	34	47	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Erlenlaub	4.6633	95.61	4.4586	0.6660	3.793	2.37	1.432	0.89	2.361	1.48	57.6	1.377	0.86
11	11	60	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Fichtenadeln	13.5320	95.50	12.9230	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
12	60	31	<i>Ligidium</i> spec.	Buchenlaub	2.3401	95.86	2.2433	1.5625	0.681	0.37	0.276	0.15	0.405	0.22	73.3	0.297	0.16
13	41	7	<i>Schizoph. sabulosum</i>	Buchenlaub	1.8167	95.86	1.7415	0.7363	1.005	3.49	0.484	1.36	0.521	1.81	58.5	0.305	0.16
14	75	5	<i>Schizoph. sabulosum</i>	Hasellaub	1.6080	94.31	1.5165	0.3889	1.128	3.01	0.508	1.68	0.619	1.65	59.5	0.369	0.98
15	70	13	<i>Polydesmus compl.</i>	Erlenlaub	2.5065	95.61	2.3964	0.4068	1.990	2.18	1.185	1.30	0.804	0.88	58.4	0.470	0.52
16	14	6	<i>Lumbricus rubellus</i>	Buchenlaub	3.5506	95.86	3.4036	2.8650	0.539	6.41	0.092	1.09	0.447	5.31	67.5	0.301	3.59
17	14	8	<i>Lumbricus rubellus</i>	Erlenlaub	4.4417	95.61	4.2467	2.2597	1.987	17.74	1.091	9.74	0.896	8.00	69.4	0.622	5.55
18	20	8	<i>Lumbricus rubellus</i>	Erlenlaub	2.7180	95.61	2.5986	0.5081	2.091	13.07	0.851	5.32	1.240	7.75	68.6	0.851	5.32
19	33	5	<i>Lumbricus rubellus</i>	Hasellaub	4.2433	94.31	4.0018	0.6380	3.364	20.39	1.610	9.76	1.754	10.63	69.8	1.224	7.42
20	40	7	<i>Lumbricus rubellus</i>	Eichenlaub	1.5959	92.33	1.4735	0.8277	0.646	2.30	0.070	0.25	0.576	2.06	79.9	0.460	1.64
21	22	10	<i>Lumbricus rubellus</i>	Luzerne	4.7297	92.68	4.3835	1.6349	2.749	12.49	2.042	9.28	0.707	3.21	67.5	0.477	2.17
22	90	5	<i>Lumbricus rubellus</i>	Knaulgras	2.0525	88.92	1.8251	0.8014	1.024	2.28	0.473	1.05	0.551	1.22	79.0	0.418	0.92
23	90	9	<i>Lumbricus rubellus</i>	Heidelbeerlaub	2.2826	95.82	2.1867	0.2107	1.976	2.44	0.758	0.94	1.218	1.50	79.5	0.969	1.20
24	6	60	Heuschrecken	Knaulgras	22.8800	88.92	20.3450	7.6294	12.716	35.33	4.284	11.91	8.432	23.42	19.3	1.672	5.86
25	6	50	Heuschrecken	Rotklee	18.8780	91.23	17.2220	9.6394	7.583	25.28	3.789	12.63	8.794	12.65	20.6	0.782	2.61

Den Versuchen 1 bis 15 wurden 100 bis 150 g geglähter Seesand, den Versuchen 16 bis 23 ein Gemisch Montmorillonit-geglähter Seesand (1:5) zugesetzt.

Tab. 2.

Der Zersetzungsgrad und einige kolorimetrische Angaben pflanzlichen Bestandesaufalles sowie der daraus von Bodentieren gebildeten Exkremente.

Versuchsnummer	Bestandesabfall und Exkremente erzeugende Tierart	% gesamtorg. Subst. bezogen auf Trockensubst. (Glühverlust)	% acetylbromidlösliche org. Substanz bezogen auf Trockensubstanz	% azetylbromidlösliche org. Substanz (Destillat)	Z. G.	(Z. G.) Destillat	Kolorimetrische % Huminsäure Merk	BG 7 FQ RG 2	0,1 g/L	H. Z.
1	Buchenlaub	95.86	29.0	14.5	30.3	15.1	19.0	8.38	19.8	
a	<i>Penthetria</i> -Larven	86.60	54.5	38.0	62.9	43.9	27.7	5.92	32.0	
b	<i>Schizophyllum sabul.</i>	89.50	51.7	37.6	57.8	42.0	27.4	7.83	30.6	
c	<i>Glomeris connexa</i>	86.51	51.2	34.6	59.2	40.1	28.0	7.50	32.4	
d	Enchytraeiden *	53.59	n. b.	n. b.	—	—	17.3	4.77	32.3	
2	Erlenlaub	95.61	23.0	6.8	24.1	7.1	14.3	6.33	15.0	
a	<i>Penthetria</i> -Larven	90.96	57.7	34.0	63.4	37.4	24.7	5.80	27.2	
b	Juliden	92.95	56.8	34.2	61.1	36.8	24.8	5.82	26.7	
c	Tipulidenlarven	95.33	59.0	37.7	61.9	39.5	28.7	5.24	30.1	
d	<i>Armadillidium</i> sp.	91.70	n. b.	n. b.	—	—	23.7	5.42	25.8	
e	<i>Polydesmus compl.</i>	93.85	57.4	30.2	61.2	32.2	25.2	5.92	26.9	
3	Hasellaub	94.31	30.7	17.0	32.6	18.0	20.5	8.60	21.7	
a	<i>Glomeris connexa</i>	88.43	52.4	31.2	59.3	35.3	28.5	8.62	32.2	
4	Ahorn	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	—	n. b.	n. b.	—	
a	Enchytraeiden	60.90	41.1	31.2	67.5	51.2	20.7	6.58	34.0	
5	Weide	n. b.	n. b.	n. b.	—	—	n. b.	n. b.	—	
a	Pappelschwärmer	86.79	34.5	24.1	39.8	27.8	22.0	6.68	25.3	
b	Spanner	89.10	44.6	34.6	50.0	38.8	24.2	6.17	27.2	
6	Fichtennadeln	95.50	28.5	16.0	29.8	16.8	15.0	9.66	15.7	
a	<i>Tracheoniscus</i> spec.	91.44	44.6	26.4	48.8	28.9	24.0	8.97	26.2	
b	<i>Glomeris connexa</i>	94.12	50.8	27.1	54.0	28.8	23.4	8.29	24.9	
7	Lärchennadeln	93.60	37.0	18.6	39.5	19.9	18.5	9.38	19.8	
a	<i>Glomeris connexa</i>	91.85	59.7	34.2	65.0	37.2	n. b.	8.19	—	
b	<i>Polydesmus compl.</i>	92.70	51.8	28.1	55.9	30.3	27.0	8.04	29.1	
8	Knautgras	88.92	13.7	3.8	15.4	4.3	5.2	4.70	5.9	
a	Heuschrecken	84.30	16.3	6.9	19.3	8.2	7.0	3.60	8.3	
b	<i>Glomeris connexa</i>	86.35	35.6	n. b.	41.2	—	13.7	7.69	15.9	
9	Rotklee	91.23	14.6	4.0	16.0	4.4	5.7	5.45	6.2	
a	Heuschrecken	86.20	17.8	6.9	20.6	8.0	8.1	5.00	9.4	
10	Wiesenschwingel	n. b.	n. b.	n. b.	—	—	n. b.	n. b.	—	
a	<i>Schizophyllum sabul.</i>	89.15	36.8	n. b.	38.1	—	13.0	7.33	14.5	
11	Weizenhäcksel	96.51	5.3	1.9	5.5	2.0	2.1	11.22	2.2	
a	<i>Glomeris connexa</i>	93.90	31.7	20.0	33.8	21.4	8.3	n. b.	8.8	
12	<i>Viburnum opulus</i>	n. b.	n. b.	n. b.	—	—	n. b.	n. b.	—	
a	Raupen	91.90	25.6	12.8	27.8	13.9	9.8	5.20	10.7	
13	grüne Apfelblätter	n. b.	n. b.	n. b.	—	—	n. b.	n. b.	—	
a	<i>Saturnia pavonia</i> -Raupen (Nachtpfauenauge)	89.15	26.5	8.2	29.8	9.1	13.7	5.53	15.4	

* = Mit anorganischer Substanz verunreinigt!

deren wir die von den Tieren mit dem Futter aufgenommene Menge azetylbromidunlöslicher Substanz in Vergleich setzen konnten zu der Menge azetylbromidunlöslicher organischer Substanz, die nach erfolgter Verdauung in den Exkrementen der Tiere zu Tage getreten ist, geben auf diese Frage Antwort. Die rechnermäßig ermittelten Werte sind in Tab. 4 zusammengestellt. Aus ihnen läßt sich das folgende interessante Versuchsergebnis ablesen. Bei einer Reihe von Fütterungsversuchen hat sich in den Exkrementen eine geringere Menge azetylbromidunlöslicher organischer Stoffe gefunden, als in dem verabreichten Futter den Tieren zugeführt worden war, in anderen Fällen dagegen war in den Exkrementen eine erheblich größere Menge vorhanden. Dabei läßt sich insofern eine recht interessante Gesetzmäßigkeit feststellen, als bei Verfütterung bestimmter von den Tieren besonders gern gefressener und offenbar leicht zersetzlicher Fallaubarten, wie zum Beispiel Erlen- und Hasellaub, von den Tieren offenbar in erheblicher Menge aus ursprünglich azetylbromidlöslichen Substanzen unlösliche erzeugt werden, während bei weniger gut verdaulichem, hartem Futter wie zum Beispiel Buchenlaub, Fichten und Lärchennadeln eine solche Anreicherung nicht oder nur in geringerem Umfange zu beobachten ist und bei Heu, Stroh und vor allem frischem Gras und Klee sogar ein beträchtlicher Verlust azetylbromidunlöslicher Stoffe beim Verdauungsprozeß eintritt. Ob in diesen letzteren Fällen azetylbromidunlösliche Stoffe von den Kleintieren als Nahrung aufgenommen oder bloß abgebaut werden, war zunächst noch nicht feststellbar. Es steht aber außer Zweifel, daß die Art des den Tieren dargebotenen Futters auf den humosen Charakter der von diesen gebildeten Exkremente einen außerordentlichen Einfluß hat, wie ja auch bei der Untersuchung von Waldböden durch *Süchting*, *Wittich* und auch schon durch andere Autoren eine deutliche Abhängigkeit der Art des aus dem Bestandesabfall gebildeten Humus von der Gehölzart, beziehungsweise der Bodenvegetation und dem von dieser gebildeten Bestandesabfall nachgewiesen worden ist.

Die Qualität der von den Kleintieren erzeugten Stoffe hängt außerdem auch davon ab, welche Kleintierarten sich an der Zersetzung beteiligten. Die in dieser Hinsicht vorliegenden Unterschiede hat schon *W. Kubierna* (mündl. Mitt.) auf Grund seiner Untersuchungen der Exkremente verschiedener Bodentierarten im

Dünnschliff unter dem Mikroskop nach mineraloptischen Methoden erkannt. Er stellte fest, daß gewisse Bodentierarten die ihnen dargebotene organische Nahrung verhältnismäßig gut verarbeiten, indem sich in ihren Exkrementen nur noch wenige Strukturen der

Tab. 3. Kohlenstoffgehalt einiger Laubarten und einiger von Bodentieren erzeugter Exkremente.

Laubart und Exkremente erzeugende Tierart	% gesamtorg. Subst. bezogen auf Trockensubstanz (Glühverlust)	C-Gehalt der Trockensubstanz in % (Dennstedt)	C-Gehalt der org. Substanz in %	Errechneter Kohlenstofffaktor
Eschenlaub	91.10	45.67	50.1	1.995
Erlenlaub	95.61	51.45	53.8	1.858
Buchenlaub	95.86	49.70	51.9	1.929
Lindenlaub	90.96	46.64	51.3	1.950
Weidenlaub	94.06	49.75	52.9	1.891
Traubenkirschenlaub	91.78	47.88	52.2	1.917
Errechneter Mittelwert			52.0	1.923
Kleinschmetterlingsraupen mit Traubenkirschenlaub als Futter	89.85	46.93	52.3	1.915
<i>Polydesmus complanatus</i> mit Erlenlaub als Futter	93.85	50.59	53.9	1.855
<i>Glomeris connexa</i> mit Buchenlaub als Futter	86.51	45.08	52.1	1.919
Errechneter Mittelwert			52.7	1.896

Ausgangsnahrung wiederfinden. Demgegenüber ist die mechanische und chemische Aufbereitung der Nahrung bei anderen Bodentieren wie zum Beispiel den Asseln und gewissen Tausendfüßlern nach den von ihm gewonnenen Dünnschliffbildern außerordentlich unzulänglich. Es ist darum auffällig, daß sich in unseren Tabellen bei Verabreichung des gleichen Futters zwischen den Exkrementen verschiedener Tiere verhältnismäßig geringe Unterschiede zeigen. Die

Tab. 4.

Gegenüberstellung des Gehaltes an azetylbromidunlöslicher organischer Substanz im verbrauchten Futter und in den daraus gebildeten Exkrementen.

Versuchsnummer	Tierart	Art des Futters	g azetylbromidunlös. org. Subst. im verbrauchten Futter	g azetylbromidunlös. org. Subst. in den gebildeten Exkrementen (tatsächlich gefunden)	Prozentuelle Steigerung bzw. Verminderung der azetylbromidunlös. org. Substanz bei der Verdauung	g azetylbromidunlös. org. Substanz in den gebildeten Exkrementen (Berechnet mit dem Z. G. der Tab. 2)	Daraus errechnete Prozent. Steigerung bzw. Verminderung
1	<i>Penthetria</i> -Larven	Buchenfallaub	0.371	0.395	+ 6.5	0.395	+ 6.5
2	<i>Penthetria</i> -Larven	Grünerlenlaub	n. b.	0.512	—	n. b.	—
3	Tipulidenlarven	Schwarzerlenfallaub	0.285	0.389	+ 36.5	0.400	+ 40.4
4	<i>Glomeris connexa</i>	Rotbuchenfallaub	0.504	0.577	+ 14.5	0.580	+ 15.1
5	<i>Glomeris connexa</i>	Haselfallaub	0.412	0.543	+ 31.8	0.576	+ 39.8
6	<i>Glomeris connexa</i>	Lärchennadeln	1.417	1.848	+ 30.4	1.553	+ 9.6
7	<i>Glomeris connexa</i>	Knaulgrasheu	0.221	0.272	+ 23.1	0.203	— 8.1
8	<i>Glomeris connexa</i>	Weizenhäcksel	0.074	0.151	+ 104.1	0.083	+ 12.2
9	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Rotbuchenfallaub	0.278	0.438	+ 57.6	n. b.	—
10	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Schwarzerlenfallaub	0.914	1.377	+ 50.7	n. b.	—
11	<i>Tracheoniscus</i> spec.	Fichtennadeln	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	—
12	<i>Ligidium</i> spec.	Rotbuchenfallaub	0.206	0.297	+ 44.2	n. b.	—
13	<i>Schizoph. sabulosum</i>	Rotbuchenfallaub	0.305	0.305	0.0	0.301	— 1.3
14	<i>Schizoph. sabulosum</i>	Haselfallaub	0.368	0.369	+ 0.3	n. b.	—
15	<i>Polydesmus compl.</i>	Schwarzerlenfallaub	0.480	0.470	— 2.1	0.492	+ 2.5
16	<i>Lumbricus rubellus</i>	Rotbuchenfallaub	0.163	0.301	+ 84.7	n. b.	—
17	<i>Lumbricus rubellus</i>	Schwarzerlenfallaub	0.479	0.622	+ 29.6	n. b.	—
18	<i>Lumbricus rubellus</i>	Schwarzerlenfallaub	0.504	0.851	+ 68.9	n. b.	—
19	<i>Lumbricus rubellus</i>	Haselfallaub	1.097	1.224	+ 11.6	n. b.	—
20	<i>Lumbricus rubellus</i>	Eichenfallaub	n. b.	0.460	—	n. b.	—
21	<i>Lumbricus rubellus</i>	Luzerneheu	n. b.	0.477	—	n. b.	—
22	<i>Lumbricus rubellus</i>	Knaulgrasheu	0.158	0.418	+ 164.6	n. b.	—
23	<i>Lumbricus rubellus</i>	Heidelbeerfallaub	n. b.	0.969	—	n. b.	—
24	Heuschrecken	Knaulgras, frisch	1.958	1.627	— 16.9	1.627	— 16.9
25	Heuschrecken	Rotklee, frisch	1.213	0.782	— 35.5	0.782	— 35.5

Anmerkung: Da den Werten für den Zersetzungsgrad in der Tabelle 1, wie in der Arbeit bereits mehrfach erwähnt, keine allzu große Genauigkeit zukommt, so wurden mit Hilfe der bei den qualitativen Versuchen gefundenen Zersetzungsgrade (Tab. 2) die entsprechenden Werte der Spalte 4 und 5 errechnet.

auffällig niederen Werte, welche die Enchytraeiden geliefert haben, gehen offenbar darauf zurück, daß diese Tiere wie die Regenwürmer mit der organischen Nahrung auch in größerer Menge anorganische Substanz in sich aufnehmen, wodurch sich der Prozentsatz azetylbromidunlöslicher organischer Substanz bezogen auf das Ausgangsmaterial naturgemäß stark erniedrigt, während

der von anorganischen Verunreinigungen unbeeinflusste Zersetzungsgrad der Exkremeute einen außerordentlich hohen Wert zeigt.

Die in Tab. 4 zusammengetragenen Werte, die wir in Zukunft noch durch weitere zu ergänzen beabsichtigen, lassen jedenfalls eindeutig erkennen, daß die Kleintiere des Bodens unter günstigen Verhältnissen in der Lage sind, im Wege des Verdauungsvorganges aus ursprünglich azetylbromidlöslichen Bestandteilen ihrer Nahrung azetylbromidunlösliche Substanz zu bilden und somit in beträchtlichem Ausmaße als Humuserzeuger zu wirken. *Daraus ergibt sich die wichtige Schlußfolgerung, daß den Bodentieren für die Bodenbildung und -erhaltung nicht nur die ziemlich allgemein anerkannte wichtige Funktion bei der mechanischen Zerkleinerung des organischen Bestandesabfalles im Boden und damit der Beschleunigung des Rotteprozesses desselben zukommt, sondern darüber hinaus auch eine chemische Funktion im Sinne der Bildung von Humusstoffen.* Ob sie diese chemischen Leistungen mit Hilfe von Sekreten vollbringen, die sie aus den Verdauungsorganen ausscheiden, oder mit Hilfe von Mikroorganismen, die in ihren Verdauungsorganen leben, oder aber mit Hilfe beider, bleibt zunächst ungeklärt. Diese Frage ist jedoch bodenbiologisch gesehen von sekundärer Bedeutung.

Im Hinblick auf die wichtigen Funktionen der Kleintiere bei der Zersetzung organischer Abfallstoffe kommt der Feststellung ihrer quantitativen Leistungen bei derselben eine besondere Bedeutung zu. Wir haben in unseren Fütterungsversuchen ein Bild von den Leistungen je Tier und Tag beim Futterverzehr und bei der Produktion von Exkrementen zu gewinnen getrachtet. Die in Tab. 1 angegebenen Zahlen können allerdings nur als Annäherungswerte gelten. Wir haben bereits an früherer Stelle darauf hingewiesen, daß bei der langen Laufzeit der meisten Versuche einerseits Ausfälle von Tieren und andererseits Zugänge an solchen durch Vermehrung wiederholt vorkamen. Dementsprechend mußte die Leistung je Tier und Tag nach einer errechneten Durchschnittszahl von Versuchstieren bestimmt werden. Darüber hinaus muß bei Beurteilung der in den Versuchen gefundenen Leistungswerte berücksichtigt werden, daß die Tiere in der Gefangenschaft bei einseitiger Fütterung und unnatürlich gleichmäßigen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen sicherlich andere Leistungen aufweisen, als in der Natur. Wir können aber ruhig annehmen, daß

die gefundenen Leistungen im Vergleiche zu den von den Tieren unter natürlichen Bedingungen vollbrachten niedrig sind, so daß in der Natur viel höhere Arbeitsleistungen erwartet werden können. Selbst die gefundenen Werte lassen bei Berücksichtigung der großen Individuenzahl, in welcher die Bodentiere sich im Boden vorfinden, deren Leistung bei der Humifizierung organischer Abfallstoffe als sehr beachtlich erscheinen. Nach den nun bereits in erheblicher Anzahl vorliegenden quantitativen Analysen verschiedener Böden hinsichtlich ihres Kleintierbesatzes kann ja bei Tausendfüßlern und Asseln je Quadratmeter mit einer Besatzdichte zwischen 10 und 100, bei Fliegenlarven oft von mehreren hunderten, bei Enchytraeiden sogar einigen tausenden und bei den Regenwürmern bis über hundert Individuen gerechnet werden. Allerdings muß bei Regenwürmern berücksichtigt werden, daß die Leistungen der einzelnen Arten (vgl. *H. Franz*) außerordentlich verschieden sind, indem es neben humusproduzierenden Formen auch solche gibt, die ausgesprochene Humuskonsumenten sind.

Eingehend auf den chemischen Charakter der von unseren Versuchstieren erzeugten humosen Exkremeute kommen wir zu folgender Feststellung. Die kolorimetrische Untersuchung zeigt einwandfrei, daß die Exkremeute nicht nur eine höhere Zersetzung, sondern auch eine steigende Humifizierung im Vergleich zu den Futterstoffen aufweisen, daß also eine beträchtliche Stoffumwandlung bei der Verdauung im Sinne von Humifizierungsvorgängen erfolgt sein muß. Die Humifizierungszahlen nach Springer stehen in den meisten Fällen in gutem Einklang mit den Zersetzungsgraden. Die gefundenen FQ.-Werte weisen allerdings in fast allen Fällen auf das Vorhandensein einer größeren Zahl von Humusvorstufen hin, und es ist wohl sicher, daß wir es bei den in den Kleintierexkrementen vorliegenden azetyl bromid unlöslichen Substanzen mit Stoffen von relativ geringer Reife zu tun haben. Im übrigen sind die FQ.-Werte der Exkremeute meist etwas tiefer als die entsprechenden FQ.-Werte der verfütterten Substanzen. Ein Verdacht auf die Anwesenheit wertvoller Grauhuminsäure (*U. Springer*) besteht nur bei den Exkrementen der Heuschrecken. Zwei von uns mit dem Langekolorimeter nachgeprüfte Grauhuminsäuren ergaben die FQ.-Werte 2,30 und 2,54. Nach der Vorschrift von *U. Springer* präparierte, mit dem Langekolorimeter auf Grauhuminsäure geprüfte, größere Mengen der Heuschreckenexkre-

mente lieferten eine Anfärbung, die einen FQ-Wert von 2,33 ergab. Dieser Wert der Heuschreckenexkremeute nähert sich auffallend dem Werte für die Grauhuminsäure. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Farbcharakter dieser Exkremeute im Zusammenhang mit dem Farbtyp des verfütterten Knaulgrases steht und es war die erzielte Anfärbung überdies so gering, daß die Anwesenheit nennenswerter Grauhuminsäuremengen in den Exkremeuten auch schon in Anbetracht des niederen Zersetzungsgrades der Substanz kaum wahrscheinlich ist. Immerhin wäre es möglich, daß die Bildung der für die Schwarzerdeböden so charakteristischen Grauhuminsäure an Abfallstoffe von Gräsern und krautigen Pflanzen gebunden ist, wie solche für Rasengesellschaften charakteristisch sind. Tatsächlich finden sich ja auch Schwarzerden stets in Verbindung mit Trockenrasengesellschaften. Es wäre sehr interessant, diesbezüglich eingehende Untersuchungen durchzuführen.

Wir haben ferner versucht, aus der Elementarzusammensetzung der Laubarten und der von Bodentieren daraus gebildeten Exkremeute Schlüsse auf den Grad der Zersetzung bzw. Humifizierung zu ziehen. In Tab. 3 ist aus dieser eine Gegenüberstellung der Kohlenstoffgehalte der untersuchten Ausgangssubstanzen und Exkremeute gegeben. Diese Gegenüberstellung zeigt, daß eine nennenswerte Anreicherung an Kohlenstoff durch den Verdauungsprozeß nicht stattgefunden hat. Der unveränderte Kohlenstoffgehalt scheint unsere bereits vorher ausgesprochene Vermutung, daß wir es bei den azetylbromidunlöslichen Substanzen der Exkremeute noch vorwiegend mit Humusvorstufen zu tun haben, zu bestätigen. Bei der kolorimetrischen Auswertung mag durch die Laugeneinwirkung auf die Humusvorstufen teilweise eine Farbvertiefung hervorgerufen und so die Humifizierungszahl überhöht worden sein (*U. Springer*).

Es ist uns bewußt, daß wir mit der Untersuchung der Zersetzung frischen pflanzlichen Bestandesabfalles durch Kleintiere im Laboratoriumsversuch aus einem in der Natur außerordentlich komplexen Prozeß künstlich einen Einzelvorgang herausgelöst haben. In der Natur vollziehen sich *neben* und vor allem *nach* dem Prozeß mechanischer Zerkleinerung und chemischer Umwandlung organischer Abfallstoffe bei der Verdauung durch Kleintiere alle die Vorgänge, die unter bakterieller und pilzlicher Rotte sowie unter chemisch-physikalischer Umwandlung zusammengefaßt wer-

den. Daß bei den letzteren vor allem unter Einwirkung von Kalk und Tonmineralien Humusformen gebildet werden, die einen beträchtlich anderen Charakter aufweisen als die im Laboratoriumsversuch von den Tieren in Abwesenheit dieser Substanzen erzeugten, ist bekannt. Wir beabsichtigen bei Fortführung unserer Versuche auch diesen Faktoren stärkere Beachtung zu schenken, haben jedoch fürs erste die Versuchsbedingungen absichtlich so weit als möglich vereinfacht. Die Art der Durchführung unserer Versuche liefert auch, wie wir glauben, trotz aller Vereinfachung einen Einblick in eine erste Stufe der Humifizierung pflanzlichen Bestandesabfalles, wie sie sich in nicht allzu verschiedener Form in der Natur selbst vollzieht. Auch bei Freilandbeobachtungen kann man ja immer wieder feststellen, daß der organische Bestandesabfall natürlicher Pflanzenbestände in der Weise in Verrottung übergeht, daß er zu einem hohen Prozentsatz zunächst von Kleintieren zerkleinert und im Verdauungsprozeß humifiziert wird. An diese erste Stufe schließen sich dann in langer Reihe weitere Abbauprozesse an, die letzten Endes zu einer mehr oder weniger weitgehenden Vererdung des organischen Abfalles führen, falls sich derselbe nicht infolge ungünstiger Rotteverhältnisse als Rohhumus oder Trockentorf anhäuft¹.

Zusammenfassung:

Um die Frage zu klären, welche Bedeutung den Kleintieren der Bodenfauna bei der Zersetzung und Humifizierung des pflanzlichen Bestandesabfalles zukommt, wurden quantitative Fütterungsversuche mit einzelnen Kleintierarten im Laboratorium durchgeführt. Die chemische Auswertung des Versuchsmateriales ergab folgendes:

1. Die Kleintiere des Bodens verzehren frischen, noch unzersetzten pflanzlichen Bestandesabfall (frisches Fallaub, Nadelstreu, Heu, Stroh etc.) und bilden bei Verdauung dieses Futters Exkremente humosen Charakters.

¹ Die Behauptung *Wittichs*, daß bestimmte pflanzliche Abfallstoffe erst nach Bedeckung mit Erde in Verrottung übergehen, ist nicht ganz richtig. Die Bedeckung mit Erde mag die Rotte zwar beschleunigen, da sie vor allem für eine gleichmäßigere Feuchthaltung der verrottenden Stoffe bürgt; viele Bodentiere treten, entsprechende Feuchtigkeit vorausgesetzt, aber auch ohne sie bei der Bestandesabfallzersetzung in Tätigkeit.

2. Diese Exkreme besitzen einen wesentlich höheren Zersetzungsgrad als das den Tieren dargebotene Futter, das somit durch den tierischen Verdauungsvorgang im Sinne der Humifizierung eine beträchtliche Zersetzung durchgemacht hat.

3. Aus der Gegenüberstellung des von den Versuchstieren in den quantitativen Fütterungsversuchen aufgenommenen Futters und der von ihnen ausgeschiedenen Exkreme ergab sich, daß die Tiere nicht nur in ihren Ausscheidungen die für sie schwer verdaulichen azetylbromidunlöslichen Stoffe des Futters anreichern, sondern darüber hinaus aus ursprünglich azetylbromidlöslichen Stoffen im Wege der Verdauung azetylbromidunlösliche Substanzen bilden.

4. Damit ist nachgewiesen, daß die Bodentiere die Zersetzung der organischen Abfallstoffe im Boden nicht nur durch mechanische Aufbereitung fördern, sondern daß sie darüber hinaus an der chemischen Umwandlung organischer Stoffe in humose Substanzen erheblichen Anteil haben.

5. Nicht nur die Kleintiere des Bodens, sondern auch die Verzehrter lebender pflanzlicher Substanz, also z. B. die pflanzenfressenden Insekten, scheiden in ihren Exkrementen humose Stoffe ab. Auch sie führen demnach dem Boden ständig humose Stoffe zu.

6. Der Charakter der von den Kleintieren produzierten humosen Stoffe hängt offenbar in erster Linie von der Art des zu zersetzenden pflanzlichen Bestandesabfalles und erst in zweiter Linie von den an der Zersetzung mitwirkenden Bodentierarten ab.

Literatur.

- Bornebusch, C. H.*: The Fauna of forest soil. Det forstlige Försøgsvaesen i Danmark. 11, Kopenhagen, 1930, 224 S. 28. Taf. — *Fourmann, K. L.*: Untersuchungen über die Bedeutung der Bodenfauna bei der biologischen Umwandlung des Bestandesabfalles forstlicher Standorte. Mitt. Forstwirtschaft. u. Forstwiss., Hannover, 1938, S. 144—169. — *Ders.*: Lebensbedingungen und Verhaltensweisen der Bodenfauna forstlicher Standorte. Ebenda, 1939, S. 160—167. — *Franz, H.*: Untersuchungen über die Bodenbiologie alpiner Grünland- und Ackerböden. Forschungsdienst 12, Berlin, 1941, 355—368. — *Ders.*: Die Tätigkeit der Kleintiere im Boden und Wirtschaftsdünger und ihre Bedeutung für das Dauergrünland. Pflanzenbau 19, Leipzig, 1943, 363—380 und 20, 1934, 1—27, 6. Abb. — *Ders.*: Bildung von Humus aus pflanzlichem Bestandesabfall und Wirtschaftsdünger durch Kleintiere. Ebenda 32, 1943, 336—351. — *Ders.*: Untersuchungen über die Bedeutung der Bodentiere für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Forschungsdienst, 13, Berlin, 1942, 320—333. — *Frenzel, Gerh.*: Untersuchungen über die Tierwelt des Wiesenbodens. Jena, 1936, 130 S. — *Kubiens, W.*: Beiträge zur Bodenentwicklungslehre: Entwicklung und Systematik der Rendsinen. Bodenkd. u. Pflanzen-

ernähr. 29, Berlin, 1943, 108—119. — *Leitenberger, L.*: Ein neues Arbeitsverfahren zur Bestimmung der azetylbromidunlöslichen Substanz mit Hilfe eines Extraktionsapparates. Mitteilungen des chemischen Forschungsinstitutes der Industrie Österreichs. Heft 3, Jänner 1947. — *Lindquist, B.*: Untersuchungen über die Bedeutung einiger skandinavischer Regenwürmer für die Zersetzung der Laubstreu und für die Struktur der Mullerde. Svensk. Skogsvårdsföreningens Tidskr., Stockholm, 1941, 179—242. — *Ders.*: Experimentelle Untersuchungen über die Bedeutung einiger Landmollusken für die Zersetzung der Waldstreu. Kgl. Fysiogr. Sällsk. Lund Förhandl., Lund, 11, 1941, 1—13. — *Meyer, L.*: Experimenteller Beitrag zu makrobiologischen Wirkungen auf Humus- und Bodenbildung. Bodenkdke. u. Pflanzenernähr. 29, 1943, 119—140. — *Morris, H. M.*: Observations on the Insect Fauna of permanent Pasture in Cheshire. Ann. applied Biol. 7, Cambridge, 1920, 141—155. — *Ders.*: The Insect and other Invertebrate Fauna of arable Land at Rothamsted. Ecology, 1922, 282—305, 7 Abb. 14, 1927, S. 442—464, 3 Abb. — *Müller, P. E.*: Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin 1887, VIII u. 324 S., 6 Taf. — *Nommik, A.*: Über die Zersetzungsgeschwindigkeit gefallenen Laubes und der Koniferennadeln. Bodenkdke. u. Pflanzenernähr. 8, Berlin, 1938, 77—100. — *Post, H. V.*: Nutideus Koprogena Bildningar. Gytija, Du, Torf och Mylla. Kgl. svensk. Vetensk. akad. Handl. N. F. 4, Stockholm, 1861/62. Eingeh. Besprechung von E. Ramann in Landw. Jahrb. 17, 1888, 405—420. — *Romel, L. G.*: An Example of Myriapods as mull formers. Pedology 16, Brocklin, 1935, 67—71. — *Soudek, St.*: Fauna lesni hrabanky. Sbornik vyocké skoly zandélské v Brně, C. S. R. Fakultata lesnická Brunn, 1928, Sign. D. 8 (Fauna of the forest soil). — *Springer, U.*: Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Forschungsdienst, 22, Berlin, 1931, 135—151. — *Ders.*: Beitrag zur Fraktionierung der echten Humusstoffe. Ebenda, 32, 1943, 129—146. — *Ders.*: Der Einfluß der Säurevorbereitung und der Beimengungen des Azetylbromids, besonders der Essigsäure, auf die Humuserde. Ebenda, 23, 1941, 281—313. — *Ders.*: Zur Methodik der Stallmistuntersuchung. Ebenda, 12, 1939, 84—121. — *Ders.*: Mehrjährige Beobachtungen über den Abbau und die Humifizierung organischer Stoffe im Boden. Von O. Siegel. Ebenda, 26, 1942, 292—298. — *Ders.*: Die Bestimmung der organischen, insbesondere der humifizierten Substanz in Böden. Ebenda, 1928, 313—359. — *Ders.*: Die Humusforschung in ihrer Bedeutung für die Landwirtschaft. Ebenda, 1940/41, 89—104. — *Ders.*: Humifizierung und Zersetzung und ihre Bestimmung in Torfen, Stallmist und anderen org. Bildungen. Ebenda, 18, 1940, 129—167. — *Süchting, H.*: Über Zersetzungs- und Humusbildungsvorgänge bei Waldstreu-, A₀-Humusarten und Vergleichs- und Modellstoffen. Bodenkdke. u. Pflanzenernähr. 32, 1943, 243—295. — *Trägardh, J.*: Studies on the Fauna of the Soil in Swedish Forests. IV. Internat. Congress of Entomology, Itaca, August 1928. Vol. II. Naumburg a. S. — *Ders.*: Studies on the Fauna of the Soil in Swedish Forests. Skogshögskolans Festschrift, Stockholm, 1928. — *Ulrich, A. Th.*: Die Makrofauna der Waldstreu. Mitt. Forstwirtschaft. u. Forstwiss. Hannover, 1933, S. 1—41. — *Wittich, W.*: Untersuchungen in Nordwestdeutschland über den Einfluß der Holzart auf den biologischen Zustand des Bodens. Mitt. Forstwirtschaft. u. Forstwiss. 4, Hannover, 1933, 115—158. — *Ders.*: Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand. Forstarchiv, Hannover, 1939, Heft 5/6, 96—111 und 1943 Heft 1/2, 1—18.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Zoologische Zeitschrift](#)

Jahr/Year: 1948

Band/Volume: [01](#)

Autor(en)/Author(s): Franz Herbert, Leitenberger L.

Artikel/Article: [Biologisch-chemische Untersuchungen über Humusbildung durch Bodentiere. 498-518](#)