

Charles Darwin.

Darwin¹⁾ hat sich neuerdings in einem grösseren Werke mit der Thätigkeit des Regenwurms beschäftigt, leider ohne Müller's Arbeit zu kennen.

Die meisten Leser werden das Werk des so überaus verdienten, vor Kurzem uns durch den Tod entrissenen Forschers kennen, sei es durch direkte Einsichtnahme, sei es durch Auszüge, welche überall die deutsche Presse davon gab. Es darf hier also nur in gedrängtem Auszuge das streng zur Sache gehörige mitgeteilt werden. Die zahlreichen und schönen Beobachtungen über die psychischen Thätigkeiten des Wurms, die Mittheilungen über exotische Würmer, über die Erhaltung alter Baulichkeiten und die Denudation des Landes müssen ganz fortbleiben. Die Mittheilungen über die Verbreitung der Würmer, obgleich

1) Charles Darwin, the formation of vegetable mould through the action of Worms. London 1881.

prinzipiell nicht neu, sind als Bestätigung der noch wenig gekannten Verhältnisse hier vorzuführen. Einzelne Punkte, in denen Darwin's Ansichten theils scheinbar, theils wirklich von den meinen abweichen, müssen eingehender behandelt werden, das lässt sich leider nicht vermeiden, weil ohne eingehende Kritik eine Sicherstellung des wahren Sachverhaltes nicht so bald zu erwarten gewesen sein würde, doch hoffe ich dabei einen Verstoss gegen die Pietät für Darwin zu vermeiden.

Regenwürmer, schreibt Darwin, wie es scheint fast immer an den grossen L. terrestris denkend, finden sich in England reichlich an verschiedensten Orten. Ihr Auswurf findet sich in ausserordentlicher Menge auf Weideplätzen und Kalkdünen (chalkdowns), so dass er, wo der Boden arm, das Gras kurz und dünn ist, fast die ganze Oberfläche bedeckt. Aber der Auswurf ist fast oder ebenso zahlreich in einigen Londoner Parks, wo das Gras gut wächst und der Boden reich erscheint. Selbst auf demselben Felde sind Würmer an einigen Plätzen häufiger als an anderen, ohne sichtbaren Unterschied in der Beschaffenheit des Bodens. Sie sind sehr reichlich in gepflasterten Höfen dicht an den Häusern. Würmer wurden im schwarzen Torf in einer sumpfigen Fläche gesehen, aber in dem trocknen, braunen, faserigen Torf, welchen die Gärtner so hoch schätzen, sind sie ganz abwesend oder äusserst selten. Auf trocknen, sandigen oder kiesigen Strecken, wo allein Haidekraut mit etwas Ginster, Farne, hartes Gras, Moos und Flechten wachsen, kann kaum ein Wurm gefunden werden. An vielen Plätzen Englands wird jedoch die Oberfläche eines Pfades, der die Haide kreuzt, mit einer feinen schwarzen Rinde bedeckt. Auf solchen von Gras bewachsenen Pfaden sieht man häufig den Wurmauswurf. Auf einer sorgfältig untersuchten Haide bei Surrey waren auf diesen Pfaden, da wo sie sehr abschüssig waren, nur ein paar Auswürfe, aber auf den mehr horizontalen Partien, wo sich ein von den abschüssigen Theilen heruntergewaschenes Bett feiner, mehrere Zoll dicker Erde, angehäuft hatte, waren die Auswürfe sehr reichlich. Diese Strecken schienen überbesetzt mit Würmern, so dass sie gezwungen waren, sich um einige Fuss von den grasigen Wegen zu entfernen. Hier fanden sich also zwischen der Haide Wurmauswürfe, aber über diese Grenze hinaus war kein einziger Wurmauswurf zu finden. Ein wenn auch nur dünnes Lager feiner Erde, welches vermuthlich lange Feuchtigkeit zurückhalte, sei in allen Fällen, wie Darwin glaubt, nöthig für deren Existenz, und die einfache Compression des Bodens schein in gewissem Grade günstig für sie zu sein, denn sie sind oft reichlich in alten Kieswegen und Fusspfaden quer über die Felder.

Unter grossen Bäumen werden während gewisser Jahreszeiten wenig Auswurfshaufen gefunden, vermuthlich weil die Wurzeln alle Feuchtigkeit aufsogen, denn solche Plätze können nach schweren Herbstregen mit Auswurf bedeckt sein. Auf den Bergen von Nord-Wales und den Alpen sollen die Würmer meistens sparsam vorkommen. Dies mag seinen Grund in dem dicht unterliegenden Gestein haben, in welches die Würmer nicht eindringen können, um, wie Darwin glaubt, dem Frost zu entgehen. In Schottland fanden sie sich in 1500, bei Turin in 2000 bis 3000 Fuss Höhe.

Darwin pflegt über seine Beobachtungen so ausführlich zu berichten, dass er ganz sicher von direkten Zählungen der Würmer, oder deren Bohrlöchern gesprochen haben würde, wenn solche stattgefunden hätten. Da er überdies selbst sagt¹⁾, dass er nicht viel Gelegenheit gehabt habe Würmer im Unter-

1) l. c. S. 110.

grund zu studiren und sich auch auf meine bezüglichen Befunde stützt, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die obigen Angaben über Vorkommen und Häufigkeit der Würmer sich auf Beobachtungen über den Wurmauswurf basiren. Der positive Schluss aus demselben auf das Vorkommen der Würmer zur Zeit der Beobachtung, oder eine eng limitirte Reihe von Jahren vorher, ist bei der genügend charakteristischen Form des Auswurfs sicher gerechtfertigt. Andererseits ist es grade ein Verdienst Darwin's, nachdrücklich darauf hingewiesen zu haben, dass manchmal, z. B. unter Bäumen das Zeichen fehlen kann, um zu anderen Jahreszeiten ungemein häufig zu werden. Daher erscheint es mir misslich aus dem Auswurf auf die Abwesenheit und namentlich auf die Frequenz der Würmer zu schliessen. Die Angabe z. B., dass eine einfache Compression des Bodens in gewissem Grade günstig für die Würmer sei, lässt sich aus der Häufigkeit des Auswurfes nicht sicher genug ableiten. Man kann nämlich fragen, ob die grössere Menge des Auswurfs nicht etwa dadurh entstehe, dass die Exkremente weniger leicht in der Erde Raum finden, und deshalb auf oder neben die Oberfläche des Pfades abgesetzt werden müssen, oder auch ob die Würmer nicht etwa beim Graben an solchen Stellen mehr Erde zu schlucken genöthigt sind. Darwin hat diese Möglichkeiten nicht in Erwägung gezogen, was zur Sicherung solchen Schlusses doch nicht unterlassen werden kann.

Dass ein dünnes Lager feiner Erde für die Existenz der Würmer nothwendig sei, halte ich gleichfalls für nicht erwiesen. Wenigstens glaube ich nachgewiesen zu haben, dass die Würmer sich eine solche Lage bald genug selbst schaffen. Ist die Erde, wie grade Darwin zuerst ausgesprochen hat, Wurmekrement, so ist sie als solche für die Existenz des Wurms offenbar nicht direkt nothwendig, sondern nur indirekt, insofern Pflanzen darin wachsen sollen.

Die eigentliche Originalarbeit Darwin's, soweit es das Interesse des Landwirths betrifft, besteht in der näheren Verfolgung des Sinkens von auf der Oberfläche gelagerten Gegenständen durch die Thätigkeit des Wurms. Der Vorgang ist komplicirter und an Beziehungen reicher als es ursprünglich schien, da es sich nicht nur um die Masse des Auswurfs, sondern auch um die Unterwühlung der Erde und deren Folgen, sowie um die Ernährung und namentlich das Erdfressen der Würmer handelt. Wir kommen daher erst nach einigen Umwegen zur definitiven Besprechung des Sinkens.

Darwin bringt uns die Details über eine ganze Reihe genau verfolgter und schlagender Fälle, welche das Sinken sowohl kleinerer wie selbst grosser Steine nachweisen. Für die Einzelheiten darf auf das Original verwiesen werden, hier sei nur erwähnt, dass sich aus diesen Beobachtungen für verschiedenartige Felder eine jährliche Ueberhäufung der sinkenden Theile mit 5,6, 4,8, 3,0 und 2,1 *mm* Erde ergeben hat. Damit nicht zufrieden, hat Darwin gewisse Zeiten (1 Jahr) hindurch von bestimmten Flächen den auf die Oberfläche entleerten Wurmauswurf sammeln lassen. Daraus hat sich ergeben, dass aus drei Versuchsflächen in England im Jahr ausgeworfen wurden, per acre 18,12 tons 7,56 und 16,1 tons oder per Hektare 45 495, 18 981, 40 383, also im Mittel 34 953 *kg*¹⁾. Auf einem ziemlich umständlichen Wege wird für den 2. und 3. Fall bestimmt, dass der Dickenzuwachs der Oberfläche im Jahr 2,286 und 3,63 *mm* betragen haben würde, was also mit den obigen Zahlen ziemlich stimmt. Bei der früher

1) Die Hektare = 2,471 Acre. Die ton Avoir du poids Gewicht zu 1015,42 *kg*.

von mir angegebenen Wurmfrequenz kämen etwa 0,7 g per Tag auf den Wurm, was an sich wohl zu stimmen scheint, denn viel Auswurf bleibt in der Erde¹⁾.

Wie die Ueberhäufung, so würde auch die Untergrabung für das Sinken von Gegenständen in Betracht kommen und zwar I. die Frage, ob die Wurmröhren zusammenfallen, II. ob die Würmer sich zeitweilig von Erde nähren und dieselbe auf diese Weise unten fortschaffen und nach oben führen.

Nachdem Darwin (S. 118) erwähnt hat, dass die Würmer Höhlungen unter Steinen mit ihrem Auswurf ausfüllen, fährt er fort: Nach Hensen werden alte Röhren gewöhnlich für diesen Zweck benutzt; aber soweit meine Erfahrung geht, ist dies nicht der Fall, ausgenommen mit solchen nahe der Oberfläche im frisch gegrabenen Grunde. Ich denke, dass Hensen durch die Rinde (walls) alter Röhren getäuscht sein mag, die mit schwarzer Erde bekleidet eingesunken oder zusammengefallen sind, denn schwarze Streifen bleiben so zurück, sind sichtbar, wenn sie durch hellgefärbten Boden gehen und mögen für völlig ausgefüllte Röhren gehalten werden. Es ist gewiss, dass alte Röhren mit der Zeit zusammenfallen, denn jedenfalls wird die (oben näher gewürdigte) Masse des Auswurfs, die auf die Oberfläche geschafft wird, nicht in die alten Röhren gebracht. Wenn die Röhren nicht zusammenfielen, würde der ganze Grund zuerst dicht durchsiebt mit Oeffnungen, bis zu einer Tiefe bis zu 10 Zoll (warum nicht „bis zu 1 Meter“ gesagt wird, verstehe ich nicht, Hensen) sein, und in 50 Jahren würde ein hohler, durch nichts gehaltener Raum von 10 Zoll in Dicke bleiben.

Es ist mir unangenehm, dass Darwin mich hier eines Irrthums beschuldigt. Es findet sich in meinem Aufsatz kein Wort von der Benutzung alter Röhren zu genanntem Zweck, im Gegentheil habe ich mich mit gutem Vorbedacht einer Aeusserung über diesen Punkt enthalten. Ueberhaupt beruht die Sicherheit, welche Darwin für das Zusammenfallen alter Röhren giebt, nur auf Ausschliessung anderer Möglichkeiten der Anfüllung des Rohrs, und fällt, sobald diese nachgewiesen werden. Wenn man übrigens die Röhren im Sande Fig. 1 ansehen will, wird man ohne Weiteres erkennen, dass solche Druckkräfte, wie dazu gehören, damit die Röhren unter Verschiebung der ganzen Bodenmasse zusammenfallen können, gar nicht abzuleiten sind. Es liegt nahe anzunehmen, dass verlassene Röhren allmählich durch den Regen mit Sand und Erde vollgespült werden. Diese Annahme wird ziemlich erwiesen, wenn herabgeschwemmte Erdpartikeln wirklich im Rohr gefunden werden. In der That finden sich an Wurzeln und Wurzelhärchen im Rohr spindelförmige, die eine Seite überziehende Erdhäufchen (vergl. Fig. 4 bis *h*) und diese können ihrer Lage und Beschaffenheit nach, wie ich glaube, nur durch Wasser von oben her dorthin gelangt sein. Ausserdem muss ich, da doch einmal die Sache zur Sprache gebracht ist, jetzt die Möglichkeit vertreten, dass der Wurm zum Theil sein Rohr selbst ausfüllt. Die Röhren sind, wie Fig. 1 zeigt, verzweigt, nicht, wie ich früher glaubte,

1) Darwin, der S. 159 durch einen Schreibfehler als meinen „Standard“ des Wurmgewichts ein statt drei Gramm angiebt, führt S. 160 in einem gewissen Gegensatz zu meinem Befunde: dass ein hungernder Wurm täglich 0,5 g entleere, Wägungen von Auswürfen an, die 123,8, 120,4, 87,4 u. 21,8 g gewogen haben und wahrscheinlich, in verschiedenen Fällen sicher „innerhalb nicht langer Zeit“ ausgeworfen seien. Es handelt sich hier um Ansammlungen der Art, wie sie als Verschluss des Rohrs auf meiner Fig. 1 bei *d* gezeichnet sind, für eine Vergleichbarkeit solcher Massen mit dem Tagesauswurf ist aber kein Anhaltspunkt da!

ganz einfach und bei der, wie Darwin so hübsch nachweist, recht gut entwickelten psychischen Fähigkeit des Wurms kann man ihm die Ausfüllung dieser Röhren von unten her wohl zutrauen. Dass ganz oberflächliche Röhren zusammenfallen können, bestreite ich durchaus nicht, dies hat aber mit dem Sinken der Steine nichts zu thun.

Wir kommen zur zweiten Frage, ob nämlich die Würmer sich zeitweilig von Erde nähren. Während Claparède und ich dies ableugnen, vertheidigt Darwin scheinbar diese Annahme auf das lebhafteste. Die Sache liegt, wie man sich denken kann, nicht ganz einfach; dass nämlich die Regenwürmer Erde aufnehmen, wird von keiner Seite bestritten; die Frage ist nur, wie sich diese Aufnahme erkläre.

1. Wir wissen sicher, dass der Wurm Bodenbestandtheile aufnimmt, um sich durch dichte Lagen durchzugraben; dies wird stattfinden im Untergrund und in der unteren Lage des Obergrundes, die, wie schon Müller hervorhebt, recht fest und dicht ist. Darwin giebt für die Erdaufnahme beim Graben nach dem Vorgang von Perrier¹⁾ schlagende Beispiele. Gewöhnlich macht der Wurm den Kopf beim Graben sehr spitz, dann verdickt er ihn, indem er seinen harten Schlundkopf in die Spitze des Kopfes hineintreibt und dadurch wie ein Keil die Erde zur Seite drängt. Mit Hülfe seiner Borsten arbeitet er sich dann weiter vorwärts. So gruben sich Würmer, auf weicher Erde liegend, in 3 Minuten ein, auf härterer in 15 bis 40 Minuten, stets ohne Erde zu schlucken. In einem Topf mit wohlgewässertem, dann niedergedrücktem und sehr compact gewordenem Sande, war ein Wurm erst nach 25 Stunden 40 Min. völlig eingegraben, wobei Sand verschluckt worden war, denn es waren grosse Mengen desselben entleert.

Hier liegt, nebenbei gesagt, der Fall des Maximums der täglich entleerten Excremente vor. Dass nämlich die Aufnahme der Sandkörner dem Wurm keine Schwierigkeiten gemacht hat, darf angenommen werden, denn so fest ist nasser Sand nicht zu pressen, dass die einzelnen Körner der Aufnahme Widerstand entgegensetzen könnten. Der Wurm hat also zur Bildung seiner Röhre in ca. 24 Stunden sein eigenes Volumen an Sand durch seinen Körper gehen lassen. Nehmen wir selbst an, dass im Anfang das Graben unbequem gewesen, oder nicht sofort begonnen sei, und geben dafür etwa $\frac{1}{4}$ mehr an Sand zu, so kommen wir doch nur zu einer Maximalentleerung von 6 bis 8 g pro 24 Stunden und darüber dürfen wir vorläufig nicht hinausgehen.

Da auch Darwin diese Fälle nicht zu denen zählt, wo Erde als Nahrung aufgenommen wird, brauchen wir uns nicht weiter damit zu beschäftigen.

2. Die Regenwürmer sind omnivor. Wie schon Morren²⁾ fand, essen sie Zucker und Lakritzen, nach Darwins Versuchen aber auch Fett, frisches, gebratenes und faules Fleisch, sowie Thierleiber neben frischen und abgestorbenen Vegetabilien.

Ob nun wirklich frische Vegetabilien, erscheint mir zweifelhaft; die Würmer überziehen nämlich die Blätter mit ihrem Mundsekret, welches eine geraume Zeit wirkt, ehe sie fressen. Darwin fand das Sekret alkalisch reagirend und bemerkte, dass damit befeuchtete frische Blätter nach einigen Stunden braun werden und absterben, bei welchem Vorgang nicht nur das Chlorophyll,

1) Perrier, Arch. de Zoologie expériment. III, 1874, S. 405.

2) Morren, de Lumbrici terrestris historia naturali, Brüssel, 1829 (mir nicht zugänglich).

sondern auch die Stärke in den Zellen angegriffen wird, kurz eine Art von Vorverdauung¹⁾ stattfindet.

Nach Frédéricq¹⁾ und Krukenberg²⁾ enthält der Darm des Wurms Eiweiss verdauende und aus Stärkemehl Zucker bildende Fermente. In hiesigem Laboratorium durch die Herren Schidlowsky und Schottin angestellte Versuche bestätigten dies, auch liess sich nach Detmer's³⁾ Vorschriften ziemlich viel Humussäure aus dem Darminhalt gewinnen; die Frage, ob ein Theil derselben vom Wurm selbst gebildet war, konnte nicht entschieden werden.

In Bezug auf das Fressen von Erde wendet sich Darwin zunächst gegen Claparède, der annimmt, dass die Würmer nur beim Graben Erde aufnehmen und führt Folgendes an.

Zwei grosse Blätterhaufen waren dem Zerfall überlassen worden, Monate nach ihrer Entfernung war die nackte Oberfläche einige Yards im Durchmesser so dicht mit Wurmauswurf bedeckt, dass dieser beinahe eine continuirliche Lage bildete und die grosse Zahl von Würmern, welche hier lebte, muss während dieser Monate aus Nahrungsmaterial, welches die schwarze Erde enthielt, gelebt haben. Die unterste Lage eines anderen Blätterhaufens wurde untersucht, die Zahl von Sporen verschiedener Beschaffenheit und Grösse, welche er enthielt, war erstaunlich, und diese in dem Magen der Würmer bewältigt, mögen sehr helfen sie zu erhalten.

Wenn immer der Auswurf in grösster Menge entsteht, wurde wenig Laub in die Röhren gezogen. Der Rasen an einer Hecke wurde täglich beobachtet und es wurde jeden Morgen frischer Auswurf gesehen, welcher der Farbe nach nicht aus dem Untergrund stammte, nicht ein einziges Blatt war in die Röhren gezogen. Wovon hätten diese Würmer leben können, wenn nicht von in der schwarzen Erde enthaltenen Materie? Andererseits, wo immer viele Blätter in die Röhren gezogen sind, scheinen die Würmer hauptsächlich von diesen zu leben, denn wenig Erde wird auf die Oberfläche entleert. Dies verschiedene Verhalten, meint Darwin, erkläre vielleicht, weshalb Claparède zermahlene Blätter und Erde stets in verschiedenen Theilen des Darmtractus gefunden habe.

Letztere Aussage beruht auf einem Missverständniss, denn Claparède sagt nur das oben S. 672 citirte. Da jedoch Darwin gezeigt hat, dass die Würmer in lockerer Erde leicht Gänge bohren können, ohne Erde zu schlucken, so wird es im Verein mit obigen Thatfachen ja in der That wahrscheinlich, dass die Erdaufnahme noch anders begründet werden muss, als Claparède dies gethan hat.

Darwin beruft sich weiterhin darauf, dass Würmer häufig sind in wohlgepflegten Höfen, wo sie nicht leicht Laub erhalten können und dass sein Sohn Horace in dem Keller eines Hauses, dessen eine Ecke gesunken war, viel Auswurf zwischen den Steinen fand; er hat aber nicht angegeben, wovon die Würmer hier lebten⁴⁾.

1) Léon Frédéricq, Archives de Zool. expérimentale VII, 1878 p. 344.

2) Fr. W. Krukenberg, vergleichend physiologische Studien I. Reihe, S. 60. Heidelberg 1881.

3) W. Detmer, die landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen, Bd. XIV. 1871, S. 194.

4) Als besten Beweis bezeichnet Darwin eine Beobachtung des Auswurfs eines exotischen Wurms. Da letzterer hier kaum interessirt und da namentlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, dass der Wurm an anderen Orten als an dem beobachteten thurmartigen Aus-

Es kann also, fährt Darwin fort, kaum bezweifelt werden, dass die Würmer auch um Nahrung zu gewinnen Erde verschlingen. Hensen jedoch schliesst aus seinen Analysen von Humus, dass die Würmer wahrscheinlich nicht von gewöhnlicher Humuserde leben könnten, obgleich er zugiebt, dass dies von Blättererde geschehen könne. Aber wir haben gesehen, dass Würmer begierig rohes Fleisch, Fett und todte Würmer verschlingen, und die gewöhnliche Humuserde kann kaum anderes, als viele Eier, Larven und kleine lebende oder todte Geschöpfe, Sporen von Kryptogamen und Micrococcen enthalten. Diese verschiedenen Organismen zusammen mit Cellulose von nicht ganz zerfallenen Blättern und Wurzeln mögen wohl über die grossen Massen von Erde Rechen-schaft geben, welche von Würmern verschluckt werden.

Wenn ich mit diesen Bemerkungen Darwins meine oben citirten sehr vorsichtigen Aeusserungen S. 672 vergleiche, kann ich nur finden, dass unsere Ansichten wenig auseinandergehen. Vielleicht dient es aber besser zur Klärung des Gegenstandes, wenn ich die mir zugewiesene Stellung annehme und vertrete.

Da die Würmer Blätter nur im macerirten Zustande aufnehmen, kann man es vorläufig noch nicht für sicher halten, dass sie sonstige frische Vegetabilien, namentlich Sporen und Eier, die wegen ihrer dichten und harten Hülle weit schwerer angegriffen werden, als Fleisch und Fett, auszunutzen vermögen. Darwin bringt in dieser Frage kein Beweismaterial, hat auch nicht die wirkliche Aufnahme dieser Dinge nachgewiesen. In einem einzigen besonderen Fall — unter einem vermulschten Laubhaufen — hat Darwin die Existenz derartiger vegetabilischer Substanzen nachgewiesen; was aber in gefegten Höfen und im Keller die Nahrung des Wurms sei, ist nicht untersucht worden. Ich habe dagegen häufig die Gartenerde untersucht und finde darin so äusserst wenig Theile von niederen Pflanzen und von niederen Thieren, dass ich deren Menge für sehr gering erachten muss, was auch die chemische Analyse bestätigt. Damit soll nicht geleugnet werden, dass zu anderen Zeiten oder an anderen Orten vielleicht mehr davon zu finden sei, jedoch dieser Nachweis dürfte abzuwarten sein, ehe man die Liste der Ernährungsmaterialien der Würmer erweitern kann. Im Holz, wo die Blätter massenhaft liegen bleiben, leben von ihnen ausser Würmern noch Pilze und andere Organismen. Hier finden sich namentlich von den Pilzen, wie ich Müller¹⁾ bestätigen kann, so viele, dass man mit ihm wohl glauben kann, es dienten diese aus den Blättern intermediär entstehenden Gewächse dem Wurm mehr zur Nahrung, wie die Blätter selbst. Uebrigens findet Müller²⁾, dass gewisse braune Mycelien scheinbar unangefochten den Darm der Würmer passiren.

Wie dem immer sein möge, folgende Sätze scheinen nach unserem jetzigen Wissen unbestreitbar zu sein:

1. Niemals lebt ein Thier von den eigenen Entleerungen. Ist die Menge an verdaulichen Stoffen in dem Frass sehr gross, so verschiebt das Thier so lange die neue Nahrungsaufnahme, bis die alte Nahrung bewältigt ist, giebt dagegen nicht ihm verdauliches Material in verschwenderischer Weise unbenutzt ab, sondern dies finden wir stets nur in Spuren den unverdaulichen Theilen

wurf, von dem herab er in der That nichts von Nahrung erreicht haben wird, an die Oberfläche gekommen ist, gehe ich nicht darauf ein.

1) Müller, Studien S. 23.

2) a. a. O. 135.

beigemengt. Bisher ist kein Grund angegeben, dass es beim Regenwurm anders sein könnte; dienten aber wirklich dem Wurm die Exkremente zur Nahrung, so könnte das doch höchstens einige Male sein, denn eine rasch fortschreitende Verarmung an organischen Stoffen wäre die absolut unvermeidliche Folge.

2. Eine Annahme, dass die unverdaulichen Theile des Wurmauswurfs von Pilzen und niedersten Thieren wieder für den Wurm verdaulich gemacht werden könnten, ist ebenso unhaltbar. Nothwendig vermindert sich bei solchem Process die Summe der organischen Substanzen im Auswurf, weil jene Organismen einen Theil derselben verbrennen müssen, um selbst zu leben. Von einer Konzentration der Masse durch Zusammensinken kann nicht die Rede sein, weil schon 95 pCt. der Substanz aus Sand besteht. Abgesehen davon, dass eine entsprechende Belebung des Auswurfs weder von Darwin nachgewiesen worden, noch von mir gefunden ist, wäre die Folge eine noch raschere Verwandlung der Exkremente zu Sand, wie bei der Annahme sub 1. Eine solche Verwandlung der Erde in Sand mit Hülfe des Wurms widerspricht völlig den thatsächlichen Befunden.

3. Wenn Lichtpflanzen, die mit Hülfe von Salzen, Kohlensäure und anorganischen Stickstoffverbindungen organische Substanz anzusetzen vermögen, sich in dem Auswurf ansiedeln, so kann derselbe dadurch zu brauchbarer Wurmnahrung umgewandelt werden. Dann aber frisst der Wurm nicht seinen Auswurf, nicht Erde, sondern die Pflanzen darin, und nimmt nur, weil es unvermeidlich ist, Erde mit auf. Ich halte es für verkehrt, zu betonen, der Wurm fresse Erde, weil dies ein recht ungenauer Ausdruck der Thatsachen sein würde. Es führt umso mehr zu unrichtigen Vorstellungen, je mehr man sich, wie Darwin thut, in Gegensatz zu meinen auf Analysen gestützten Anschauungen stellt. Dies hätte ich gern vermieden gesehen, umso mehr, als wir nicht erfahren haben, was eigentlich der Wurm frisst, wenn er viel Auswurf auf die Oberfläche entleert.

Wir können nunmehr Darwin's Ansichten über das in horizontaler Lage vor sich gehende Sinken der Steinschichten von Gruss und Aehnlichem näher treten. Schon Müller hat erklärt, dass diese Verhältnisse nicht recht verständlich seien und auch ich muss das Gleiche sagen. Obgleich nämlich im Allgemeinen die thatsächlichen Befunde Darwin's ja keinem Zweifel unterliegen, auch durch Nachuntersuchung leicht bestätigt werden können, so bleibt doch unverständlich, weshalb nicht alles Gestein unserer Gärten und Aecker versinkt (im gegrabenen Land natürlich erheblich langsamer als im unberührten), noch auch, weshalb in Wäldern, die bei uns sicher viele Jahre vom Spaten unberührt bleiben, Steine fast überall gefunden werden können, wo Regenwürmer graben.

Darwin hat seine Betrachtungen auf die Fälle beschränkt, wo thatsächlich ein Versinken nachzuweisen war. Er erklärt dasselbe (1) durch Ueberhäufung mit Wurmerde (2) durch Untergrabung seitens der Würmer, die viele Male dieselbe Erde sollen durch ihren Körper passiren lassen. Da wir in Bezug auf 2 Bedenken zu erheben haben, ist zunächst die Frage zu erörtern, wie weit Punkt 1 ausreichen kann.

Dass eine Ueberhäufung der Gegenstände mit Wurmauswurf so stattfindet, wie die von Darwin ermittelten Zahlen ergeben, ist zweifellos. Ueber das Vergehen der Gartenerde u. s. w. liegen, soweit ich sehe, wohl Meinungen,

aber keine experimentellen Thatsachen vor¹⁾ und so lange man darüber nicht unterrichtet ist, kann man sich keine genaue Vorstellung über das Resultat dieser Ueberhäufung von Gegenständen bilden. Verginge die Erde namentlich in ihren oberen Schichten, so müsste sie dort ohne frische Beimengung von Humustheilen schliesslich sandig werden; spülte der Regen die untersten Lagen in den Untergrund, so würde der Sand nach oben rückend die Lage der Erdrinde verdicken und der sinkende Theil müsste schliesslich in den sandigen oder lehmigen Untergrund gerathen, was doch auch nicht der Fall zu sein scheint. Vielleicht findet ein Schwinden der humösen Substanzen auf beide Weisen statt; aber so lange keine messenden Beobachtungen über das Schwinden des Humus in natürlicher Lagerung vorliegen, halte ich ein weiteres Eingehen auf diesen Theil der Frage des Sinkens für müssig.

Was die Untergrabung der Gegenstände angeht, sind zwei Fälle zu unterscheiden. Unter grossen Steinen, steinernen Fussböden in Ruinen u. s. w. graben die Würmer unzweifelhaft, und den hier recht fest liegenden Grund werden sie wohl schlucken und herauschaffen müssen. Zwar finde ich die Würmer unter grossen Steinen nicht besonders reichlich, aber die Zeit mag doch viel Auswurf bringen.

In Bezug auf die Lagen kleinerer sinkenden Gegenstände vermisst man bei Darwin den Nachweis, dass wirklich die Würmer Erde darunter fortgenommen hätten. Ich selbst habe mich vergeblich bemüht unter einer Lage von Bau-schutt, welche etwa 10 *cm* tief gesunken war, solche Ausgrabungen zu finden. Ich bezweifle das regelmässige Vorkommen derselben um so mehr, als eine Aufnahme von Erde der tieferen und härteren Humuslage behufs Einführung von Nahrung noch ferner zu liegen scheint, wie diejenige von Erdlagen unmittelbar an der Oberfläche.

So wenig also das Sinken von Gegenständen bezweifelt werden kann, fehlt doch noch Manches an der theoretischen Erklärung des Vorgangs.

Schliesslich ist noch Darwin's Bericht darüber zu erwähnen, dass die Würmer die Mündung ihres Rohrs mit Blättern des Schutzes wegen verstopfen, die Wandungen des Einganges mit Fichtennadeln zierlich auskleiden, auch relativ grosse Steine herbeischaffen, um damit die Mündung zu überdecken. Ich muss gestehen, dass ich solche Fälle bisher nicht beobachtet habe, im Gartenland sind sie jedenfalls nicht die Regel.

Besprechung einiger anderer Einwendungen.

Es ist mir gelegentlich der Einwand gemacht worden, dass die Würmer nicht viel Bedeutung für den Untergund hätten, weil sie dorthin wohl nur im Winter sich zurückzögen. Darwin sagt²⁾, dass die Würmer hauptsächlich und gewöhnlich nahe der Oberfläche leben, aber während langer Trockenheit und strenger Kälte tief graben, jedoch er giebt keinerlei Beweise dafür.

Man muss in dieser Frage strenge zwischen *L. terrestris* und *communis* unterscheiden. Ersteren findet man bei Tage stets im Untergrund im Lager, was jedoch nicht ausschliesst, dass gleichzeitig eine mehr oder weniger grosse

1) Es sei denn die Erfahrung, dass die Erde in Blumentöpfen von der Oberfläche aus sandig zu werden pflegt und Versuche von Ed. Peters, die landwirtschaftlichen Versuchsstationen, Bd. IV S. 117, der nachweist, dass der Humus sehr viel Kohlensäure verliert und zwar namentlich der warm gehaltene, also im Freien die oberen Schichten.

2) a. a. O. S. 109 u. 178.

Quote desselben an der Oberfläche zu finden ist. Aus zahlreichen Erfahrungen, namentlich meiner jüngeren Jahre weiss ich, dass man in der Regel eine relativ nennenswerthe Menge erwachsener Thiere dieser Species durch Umgraben der Oberfläche nicht bekommt, dass aber, namentlich nach Regen doch sicher einige zu bekommen sind. Jedoch wenn man mit den grossen Würmern angeln will, lohnt das Graben nie ausreichend, man muss die Thiere des Nachts sammeln. Meine Kunde zwingt mich zu dem Urtheil, dass am Tage meistens mehr grosse Würmer in der Tiefe im Lager als an der Oberfläche zu finden sind. Ich habe früher auf die Möglichkeit hingedeutet, dass die Würmer bei den Erschütterungen durch Graben ihren Sitz ändern können. Ich habe aber von einer Grube aus die Thiere Tag für Tag so im Untergrund aufgesucht, dass der erste Spatenstich sie an ihrem Platz fesselte, daher bin ich für jene Jahreszeit, Spätherbst und Winter, meiner Sache sicher. Bei der eigenthümlichen Schlawheit, welche die im Lager stehenden Würmer zeigen, ist anzunehmen, dass die Mehrzahl der Würmer, welche ich zu anderen Monaten im Lager fand auch wirklich dort standen und sich nicht etwa während des Grabens dorthin zurückgezogen haben.

Völlig verschieden ist das Verhalten des *Lumbricus communis*. Derselbe hat sein Lager in den tieferen harten Schichten des Obergrundes, aber nicht einmal an der Grenze desselben, und liegt hier zu einem Klumpen aufgeknaült (Fig. 1 bei b). Für diese Species also trifft die Aussage Hofmeister's (vgl. S. 668) zu und da sich kein deutliches Anzeichen dafür findet, dass Hofmeister selbst den *L. terrestris* im Untergrund aufgesucht habe, ist anzunehmen, dass er den Befund von der einen Species auf die andere übertragen hat. Auch Darwin hat keinen *L. terrestris* im Lager gesehen und wiederholt einfach die Angabe Hofmeister's. Dieselbe wird aber dennoch irrig sein, denn ich habe wohl gegen 40 Thiere im Lager getroffen und nicht einen einzigen aufgerollt gefunden, ebensowenig eine Höhlung, die eine solche Aufrollung zuliesse, trotzdem ich sicher mehrere hundert Wurmlager darauf angesehen habe.

Es kann wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass der *L. communis* jeden Winter steif einfriert, in dem letzten milden Winter habe ich ihn allerdings nicht völlig gefroren angetroffen, aber andere Male traf ich erheblich tiefer sitzende Würmer steif gefroren und die grosse Regel ist es, dass der Boden tiefer gefriert als jene Wurmlager sich finden. Wenn dieser Wurm also das Frieren verträgt, so wird es doch seinen guten Grund haben, weshalb er ein Winterlager bezieht (später findet man ihn nicht mehr so gelagert). In dieser Tiefe und in aufgeknaulter Haltung entgeht er nämlich dem plötzlichen Temperaturwechsel, der allen gefrorenen lebenden Theilen so gefährlich wird. Die Lebensweise des *L. communis* scheint überhaupt ziemlich verschieden von derjenigen des grossen Regenwurms zu sein, leider ist es sehr schwierig, Genaueres darüber zu erfahren, so dass ich nichts darüber mittheilen kann.

Bezüglich des Weges der Wurzeln ist mir gelegentlich der Einwurf gemacht, dass zu den Drainröhren führende Wasseradern die Wurzeln leiteten. Der Einwand beruht nur auf der bekannten Beobachtung, dass die Wurzeln in und an den Drains sich üppig entwickeln. Die Wasseradern, welche zu Spalten der Drainröhren führen, müssen an diesen mit dickerem Stamm beginnen und sich von hieraus in das Erdreich hinein verästeln. Eine andere Grundform könnte sich, selbst wenn sie durch Zufall gebildet worden wäre, nicht halten, weil in den ferneren Zweigen der Strom nothwendigerweise lang-

samer ist, wie in dem Stamm und daher aus ersterem stets Partikel in letztern hineingeschwemmt werden würden, welche sich in den feineren Zweigen absetzen und diese verstopfen würden. Wahrscheinlich führen die Würmer ihre Röhren bis zu den Drains, ich habe darüber keine Erfahrung.

Es giebt übrigens ausser den Wurmröhren noch eine andere Art von Wegen in die Tiefe. Thiel hat bereits auf dieselben aufmerksam gemacht, es sind die abgestorbenen Wurzeln perennirender Gewächse. Auf diesem Wege können die Wurzeln ziemlich üppig wachsen, man sieht in Fig. 1 bei *f* und in Fig. 3 *h* solche vermodernde Baumwurzeln, in denen sich die frischen Wurzeln *d* zwischen Rinde und Mark vorwärts schieben. Die Cambiumschicht zerfällt rasch und statt ihrer entsteht eine Luftlücke, in der die jungen Wurzeln wachsen. Das Mark zerfällt später; am spätesten die Rinde. Ich habe nicht finden können, dass die Würmer diesen zerfallenden Wurzeln nachgehen, so wahrscheinlich es auch ist. Das Loch Fig. 3 *h* rührte von einem Insekt her.

Wenn irgendwo in einem Boden alle Würmer zerstört werden, hört also nicht unmittelbar die Möglichkeit auf, dass die Wurzeln in den Untergrund dringen können, noch Jahre lang können sie die alten Wurmröhren und die alten Wurzeln benutzen. Diese Wege müssen jedoch von Jahr zu Jahr spärlicher werden und schliesslich wird allerdings die Möglichkeit für die Wurzeln rasch in den Untergrund vorzudringen ganz aufhören.

Erweiterte Betrachtungen und Beobachtungen.

Es soll nunmehr versucht werden die Bedeutung der Wurmröhren für die Wurzeln näher wie bisher geschehen, zu bestimmen.

Es könnte nicht auffallen, wenn seitens der wissenschaftlichen Botanik wenig Gewicht auf das Vorhandensein vorgebahnter Wege für die Wurzeln gelegt würde. Innerhalb frisch in Gefässe gebrachter Erde und Sand wachsen die Wurzeln, selbst wenn einmal das Vorkommen von allen Würmern ausgeschlossen sein sollte, mit überraschender Schnelligkeit abwärts. Dennoch sollte das Dasein von Röhren in der freien Natur nicht vernachlässigt werden, einmal weil thatsächlich die vorhandenen Röhren vorzugsweise von den Wurzeln benutzt werden, ferner weil zu bedenken ist, dass der natürliche Grund sich seit einer ungezählten Reihe von Jahren festgesetzt hat. Wenn schon, trotz aller in ihr bohrenden Thiere, die Oberfläche der Lockerung durch Menschenhand dringend bedarf, ist die Durchbohrung des Untergrundes wohl erst recht unentbehrlich, wenn er den Wurzeln, so gut sie auch bohren können, zugänglich bleiben soll.

Von Befunden über das Verhalten der Wurzeln im natürlichen Zustand ist mir nur noch die citirte Arbeit von Thiel bekannt, welche eine Reihe genauer Untersuchungen über die Wurzelverbreitung giebt. Die Pflanzen wuchsen theils in Cylindern mit künstlich vorbereitetem Grund, theils im botanischen Garten (Poppelsdorf), theils im freien Land. Einige der gewonnenen Resultate vertheile ich zu nachfolgender Tabelle:

(Folgt Tabelle auf Seite 690.)

Die Gewichtsbestimmungen führten bei normaler Schichtung des Bodens zu ähnlichen Resultaten, jedoch, wenn in der Tiefe wieder Humus lag, gestal-

Tiefe in Metern	Anzahl der Wurzeln auf einem Flächenschnitt von 0,3 Quadratmetern			
	Trifolium pratense (Klee)		Avena sativa (Hafer)	Zea Mays (Mais)
	im Garten	im freien Land	im Garten	im freien Land
Oberfläche	sehr viele	sehr viele	—	—
0,1	—	—	—	68
0,2	—	—	—	32
0,25	100	—	90	—
0,3	—	55	—	33
0,35	53	—	78	—
0,4	—	—	—	23
0,45	33	—	74	—
0,5	—	43	—	23
0,55	25	—	48	—
0,6	—	—	—	14
0,65	20	—	39	—
0,7	—	27	—	6
0,75	11	—	33	—
0,8	—	—	—	2
0,85	6	—	29	—
0,9	—	8	—	0
0,95	2	—	29	—
1	—	—	—	—
1,05	—	—	18	—
1,1	—	6	—	—
1,15	—	—	13	—
1,5 — 2	—	einzeln	—	—

tete sich die Sache, wie bereits Nobbe¹⁾ angab, anders, ich gebe, um das zu zeigen, noch folgende zwei Bestimmungen von Thiel.

Mais, trockne Wurzeln.

Normale Schichtung		Abnorme Schichtung		
Tiefe	Gewicht der Wurzeln	Tiefe	Gewicht der Wurzeln	
m	g	m	g	
0—0,38	7,84	0—0,15	Gartenerde	8,05
—	—	0,15—0,30	Mergel	2,03
0,38—0,6	2,08	0,3—0,45	Kies	1,67
—	—	0,45—0,6	Gartenerde	5,58
0,6—0,9	1,57	—	—	—
0,9—1,22	0,5	—	—	—

1) Fr. Nobbe über d. feineren Verästel. d. Pflanzenwurzeln, d. landw. Versuchsst. IV. 212.

Man sieht also, dass nach dem Untergrund zu die Bewurzelung stets erheblich abnimmt, dass aber die Bewurzelung wieder zunimmt, wenn die Wurzel auf gute Erde stösst.

Das Verhalten der Wurzeln mag etwa dem Vorkommen der Regenwürmer entsprechen, da der nur in den oberen Schichten lebende *Lumbric. communis* so sehr viel zahlreicher und massenhafter zu sein scheint, wie der in beiden Schichten lebende *L. terrestris*.

Thiel, der die Kanäle im Boden und ihren Gebrauch durch die Wurzeln ja entdeckt hatte, der jedoch deren Belegtheit mit Erde nicht so beachtete, spricht sich eingehend über die Verhältnisse aus. Auch ihm ist es nicht zweifelhaft, dass die Wurzeln wesentlich nur durch solche natürlich gebahnten Wege in die Tiefe gelangen können, aber eine Ausnutzung des Untergrundes durch diese Wurzeln, überhaupt eine nennenswerthere Bedeutung derselben für die Ernährung der Pflanze bestreitet er. Die Wurzeln berührten überhaupt den Boden nur wenig, hingen vielmehr in der Luft. Obgleich also diese Wurzeln für die Sammlung von Nahrungsmaterial fast bedeutungslos seien, so könnten sie doch eine geringe Menge Flüssigkeit sammeln, auch wohl bei perennirenden Pflanzen zur Stoffaufspeicherung dienen.

Auf den ersten Blick schienen mir in der That Thiel's Messungen und Zählungen sehr stark zu Gunsten seiner Ansichten zu sprechen, nach näherer Analyse der Frage kann ich doch nicht mehr zustimmen.

Die Scheidung zwischen Obergrund und Untergrund scheint für normale Schichtung¹⁾ bei 0,38 *m* zu liegen, so dass 8 Gewichtstheile Wurzeln im Obergrund auf 4 Gewichtstheile im Untergrund entfallen würden. Einige andere Messungen Thiel's fallen ungünstiger, etwa 4:1, andere wieder etwas günstiger aus, ich möchte kein grosses Gewicht auf diese Differenzen legen. Es mögen sich andere Pflanzen noch anders verhalten, ich hatte z. B. auf Grund gewisser Darstellungen angenommen, dass Rasengras nur oberflächliche Wurzeln haben werde, aber da ich nachgrabe, finde ich auch diese Wurzeln tief im Untergrund, ja die Masse derselben ist dort vielleicht erheblicher als im Obergrund. Im Allgemeinen erlaube ich mir anzudeuten, dass es den Eindruck macht, als wenn man des Gedeihens eines verpflanzten Gewächses nicht eher sicher sein könne, ehe seine Wurzeln in den Untergrund gedungen sind. Die nach einigen Jahren kränkelnden und ausgehenden Pflanzen nimmt man so leicht mit der Hand aus dem Boden, dass sie wohl sicher keine Wurzel in den Untergrund getrieben haben.

Für einen Waldbestand kann es nicht gleichgültig sein, ob die Bäume nur auf der Oberfläche wurzeln oder bis zu 1 und 2 *m* tief zu gehen vermögen, ein Windstoss wird letztere nicht so leicht entwurzeln wie erstere. Ob es ohne Bedeutung ist, dass die im Untergrund liegenden Wurzeln nicht frieren, kann nur zur Erwägung gestellt werden, da Entscheidendes in dieser Richtung noch nicht vorliegt.

Ueberschlage ich die Menge von Regenwurmerde in den Röhren des Untergrundes, so finde ich, dass dieselbe auf die Oberfläche vertheilt eine Schicht von 0,3 bis 3 *mm* Dicke, also ungefähr $\frac{1}{10}$ bis 1 pCt. der Masse des Ober-

1) Vgl. nebenstehende Tabelle,

grundes bilden würde. Dies mit dem Wurzelgewicht verglichen muss man sagen, dass eine enorme Ausnutzung dieser Erde durch die Wurzeln stattfindet¹⁾.

Diese allgemeinen Gründe stehen an Beweiskraft zurück gegen das Resultat der Detailuntersuchung. Das für die Stoffaufnahme Thätige sind in erster Linie die Wurzelhaare. Es ist wahrhaft überraschend zu sehen, wie reichlich diese sich im Untergrund unter Umständen entwickeln. Das Rohr sieht aus, als wenn es von einem dichten Schimmelfilz überzogen wäre (Fig. 2 bei A), aber bei genauerer Untersuchung erweisen sich alle Fäden als Wurzelhaare. Ich glaube nicht, dass man die Haare irgendwo sonst so reichlich entwickelt finden wird, denn hier haben sie stets feuchte, an Kohlensäure reiche Luft, ziemlich gleichmässige Temperatur, fruchtbare Erde, Raum und Ruhe zum Wachstum. Wenn man sie nicht immer so reich entwickelt findet, liegt dies, wie ich glaube, zum Theil daran, dass die Wurzeln zu locker liegen, um die Eröffnung des Rohrs ohne vielfache Zerreiſsung der Härchen zu ertragen, zum Theil mögen wandernde Würmer sie zerstört haben, aber es werden auch noch andere mir unbekanntere Umstände mit im Spiel sein.

Von dem Reichthum und der Ausdehnung der Wurzelhaare giebt Fig. 4 nur ein schwaches Bild, aber doch ein Bild. Weil kein Frost mehr kam, musste ich nämlich ein Präparat aus dem ungefrorenen Boden herstellen, wobei natürlich viele Härchen zerstört wurden. Die Figur kann in gewisser Weise als ein Schnitt durch den Erdboden bezeichnet werden. Mit dem Messer kann man allerdings durch sandigen Boden nicht schneiden, aber es lag ein flaches Steinchen so, dass es glatt abgehoben werden konnte und die Fläche unter diesem Stein kann als natürliche unzerstörte Schnittfläche bezeichnet werden. Uebrigens habe ich häufig solche Bilder von Trennungsf lächen durch den Boden erhalten; das ist nicht schwer und das Aussehen des Bodens wiederholt sich stets in der gezeichneten Weise. Man sieht sowohl in der Erde bei *g* als auch in den Höhlen des Sandes bei *e* Wurzelhaare. Wie kommen diese dorthin? Ich glaube nicht, dass die Masse von den feinen Härchen aus eigener Kraft durchbohrt wird. Ihr von Sachs²⁾ nachgewiesenes Vermögen im Kalkgestein sich Wege zu ätzen, kann für Humus und Sand in der Regel nicht in Betracht kommen, weil hier eine Aetzung nichts fördern wird. Man könnte sich vielleicht theoretisch zurecht legen, dass ein Härchen sich zunächst mit der Spitze fixirt, um sich alsdann durch Spitzenwachsthum seinen Weg in Erde und Lehm zu bahnen. Betrachtet man jedoch das mikroskopische Präparat, so erscheint es unmöglich, dass die überaus feinen und biegsamen Härchen sich durch diese Masse kompakt verpackter Körner, die im Verhältniss zu ihnen wahre Felsen sind, sollten einen Weg bahnen können. Es sind, wie ich glaube, auch hier vorgebahnte Wege auf denen sie ziehen. Im Humus finden sich jene eigenthümlichen Aderungen, die auf Fig. 4 wiedergegeben sind, im lehmigen Sand grössere Hohlräume. Die Aderung des Humus rührt, wie ich glaube, von Wasser her, das zuweilen aus dem Rohr in den Sand dringt, andere Male (wenn das Rohr sich von Regenwasser entleerte, der Lehm oder lehmige Sand noch damit erfüllt war), den umgekehrten Weg verfolgt; eine bestimmte Richtung der Strömungen lässt sich nämlich aus der

1) Denn auf 0,38 m Obergrund kommen 8 g auf 0,003 m Erde des Untergrunds 4 g Wurzeln.

2) Sachs, Handb. der Experimental-Physiologie S. 189.

Form der Aderung nicht entnehmen. Die Adern werden die Wege für die Haare sein.

Es wird für die Würdigung der Wurzelthätigkeit im Untergrund nöthig, dessen Struktur näher zu erläutern. Sachs¹⁾ hat uns über die Art, in welcher sich das Wasser im Boden finden soll eine ausführliche Darlegung gegeben und darauf hat sich eine sehr bedeutende Literatur aufgebaut. Sachs bezeichnet das vom Boden absorbirte Wasser, welches die Landpflanzen angewiesen sind aufzunehmen, als ein nicht flüssiges, denn wäre es flüssig, so würde es dem Gesetz der Schwere folgen und unten durchlaufen; da es nun aber nicht durchläuft, so muss es seine Eigenschaft zu fließen verloren haben. Dementsprechend zeichnet er zur Verdeutlichung seiner Ansicht einen Durchschnitt durch den Boden, wie er ihn sich denkt²⁾. Nach den Wurzelhaaren darin zu schliessen, ist die Vergrößerung recht stark gedacht, die Sandkörner, fein wie Staub, sind von Wasserschichten umgeben und diese wieder begrenzen Luftlücken, so dass man den lebhaften Eindruck erhält, dass Wasser werde durch irgend eine Kraft am Abfließen gehindert. Nun wäre freilich zu bedenken, dass diese Lücken nicht Durchschnitte senkrecht verlaufender Röhren sein können, sondern bald genug gegen einen Boden, der das Abfließen des Wassers verhindert, anstossen werden, aber in diese Betrachtung tritt Sachs nicht ein.

Leider bin ich verhindert worden, diesen Verhältnissen im Boden so zu folgen, wie ich gewünscht hätte, jedoch glaube ich die Anschauungen, zu welchen ich gekommen bin, kurz angeben zu dürfen. Es findet sich das Wasser auf dreierlei Art im Boden. 1. Als Quellungswasser in den organischen Resten, also namentlich den unverdaut gebliebenen Zellwänden, die sich in der schwarzen Erde nachweisen lassen. Dies Wasser ist den Wurzeln unzugänglich und kann nur durch Verdunstung wieder frei und nutzbar gemacht werden. Es erklärt wohl, dass der Humus 12 pCt. seines Wassers nicht an Pflanzen abgibt. 2. Durch Capillarität gehaltenes Wasser. Wenn man den trocknen Boden an einer Stelle mit Wasser in Berührung bringt, so zieht sich dieses, wie an dem Farbenwechsel erkannt werden kann, allmählich auf ziemlich weite Strecken durch den Boden, ähnlich wie Sand Dinte aufsaugt. Hier wandert also das Wasser durch die Lücken zwischen den einzelnen Sandkörnern und an den Rauigkeiten und Spalten derselben hin, und es wird gewiss in der Art, wie dies Sachs ausführt, ein Zuströmen nach den Orten, wo Wasser entzogen wird, stattfinden. Bei der mikroskopischen Untersuchung finde ich jedoch nicht eigentliche Röhren, sondern die Oberfläche der kleinen Steinchen ist zum Theil sehr rau und durch schmale Spalten von den Nachbarn getrennt (vergl. Fig. 4c) und das Gestein glitzert vor Nässe. Diese kleineren Spalten gehen jedoch nicht tief, denn die Sandkörner sind umgossen von einer ockerfarbigen sehr homogenen Eisen und wohl auch Thon haltigen Masse³⁾, die wie ich glaube wasserdicht ist. 3. Das Wasser findet sich frei in den Höhlungen, welche in Fig. 4c deutlich hervortreten, deren Boden oder richtiger gesagt Seitenwand allerdings theilweise zu tief lag, um gezeichnet zu werden. Die Beobachtung, dass sich freies Wasser im Boden halten kann, ist, wie ich glaube neu und muss näher begründet werden. Wenn man gefrorenen Boden präparirt,

1) Sachs, landwirthschaftl. Versuchs-Stationen I, 203, II. I und Handbuch etc. p. 2.

2) Handbuch Fig. 16.

3) Dieselbe war bei dieser Vergrößerung noch zu wenig deutlich, um gezeichnet zu werden.

findet man sowohl in der schwarzen Erde als auch im Untergrund Eiskörner eingesprenkt, die sich, sobald das Messer darüber hinging, durch ihr weisses Ansehen verrathen, während sie sonst allerdings krystallklare Schollen darstellen, die schwierig zu sehen sind. Die Höhlen sind nur klein, meist unter 0,3 mm im Durchmesser, daher erkennt man in ihnen nur schwierig das Wasser in ungefrorenem Zustande, um so schwieriger als die Höhlen zugleich Luft enthalten, und das Wasser darin mit sehr starkem Meniscus steht. Alle diese Höhlen werden durch irgend welche Spalten mit einander communiciren, dass aber das Wasser nicht durch diese Spalten abfließt, erklärt sich dadurch, dass seine Continuität durch Luft unterbrochen wird. Aehnlich wie das Wasser durch ein Capillarrohr, welches in Wasser taucht nicht hindurch fließen wird, wenn in das Rohr von Strecke zu Strecke Luftblasen eingeschaltet sind, zieht es sich auch nicht durch diese Spalten des Bodens nach abwärts, sobald genügend Luft im Boden ist. Es ist mir nicht gelungen mit dem Mikroskop nachzuweisen, dass der Boden dieser Höhlen wasserdicht hält, jedoch wenn man die Theile mit Wasser verreibt und filtrirt, so verstopfen sich die Poren des Filters. Ich sehe nicht ein, wie es im Boden anders gehen könnte, sondern glaube, dass das durchsickernde Wasser, indem es die feinsten Bodentheile aufrührt, alle feinen Spalträume selbst verschliesst und nur die weiteren Spalten, die man auf Fig. 4 sieht, offen lässt, weil sie zu gross sind, um mit dem feinen Schlamm sich auszufüllen, resp. durch stärkeren Wasserandrang sich stets wieder eröffnen. Ein Theil der grossen Wassermenge, 52 pCt., welche solcher Boden halten kann, wird auf die Anfüllung dieser Höhlungen kommen, von denen aus sich dann das capillar vertheilte Wasser lange Zeit erneuen kann.

Wir können nunmehr die Ansicht von Thiel, dass die in der Luft hängenden Wurzeln der Regenwurmröhren nicht viel nützen können, näher treten. Die reiche Bewurzelung der Röhren ist kein völlig unzweifelhaftes Argument zu Gunsten ihrer Ausnutzung, da die Pflanzen sich auch in besonders armem Boden, oder wenigstens in stoffarmer Nährflüssigkeit stark bewurzeln, (immerhin möchte ich glauben, dass das Resultat von Nobbe und Thiel, nach welchem die Wurzeln sich stark entwickeln, sobald sie auf frischen Humus stossen, sich nur durch die Güte des Bodens erklärt, wie die beiden Autoren dies wollen). Auch die Sättigung der Luft mit Wasserdampf darf nicht zu Gunsten der Funktion dieser Wurzeln herbeigezogen werden, da Sachs¹⁾ findet, dass die Wurzeln Wasserdampf nicht aufnehmen. Es kommt jedoch bei diesen Wurzeln ein Moment von wie ich glaube grosser Bedeutung in Betracht, das bisher kaum berücksichtigt worden ist, es ist dies der unterirdische Thau. Ich habe zunächst im Winter 1879/80 Folgendes beobachtet. Nach einem mehrere Wochen andauernden Frost wurde die gefrorene Erde durchbrochen, unmittelbar unter der gefrorenen Erde zeigte sich eine 1 bis 2 Fuss tiefe Schicht völlig feuchten Untergrundes, der tiefer hinunter wieder trockener wurde; das Grundwasser stand 45 bis 48 Fuss tief, wie aus einem in der Nähe befindlichen Brunnen

1) Landwirthschaftl. Versuchsstationen II, S. 6. Mich persönlich überzeugen diese Versuche allerdings nicht, die eine der beiden Versuchspflanzen war in Wasser gezogen und dass solche Wurzeln keinen Wasserdampf kondensiren, ist kein unbedingter Beweis, die andere Pflanze war der Erde entnommen, dabei werden aber unvermeidlicher Weise eine solche Masse von Wurzelhaaren verletzt, dass die tausende von Wunden, aus denen die Pflanze blutete, doch vielleicht die Wasserabgabe durch die Wurzeln, welche gefunden wurde, erklären können.

entnommen werden konnte. Alle Verhältnisse wohl erwogen, scheint keine andere Möglichkeit für die Anwesenheit dieser Menge flüssigen Wassers da zu sein als die, dass sich unmittelbar an der eisigen Erdoberfläche der Wasserdampf fortwährend verdichtet habe, neuer Dampf aus der wärmeren Tiefe aufgestiegen sei und so im Laufe eines Monats (so lange war die Erde gefroren gewesen), sich die Flüssigkeitsmenge angesammelt habe. In den Wurmröhren liegen die Wurzelhaare immer feucht, man darf sie kaum einige Minuten der freien Luft aussetzen, ohne dass sie eintrocknen, ich finde sie aber sehr häufig mit Thautropfen über und über bedeckt, habe aber leider derzeit diesen Verhältnissen nicht die Beachtung geschenkt, welche die Theorie erfordert. Man kann darüber zweifelhaft sein, ob durch die tägliche Erwärmung und Abkühlung des Erdbodens in den kleinen oben beschriebenen Höhlungen periodisch eine Bethauung eintritt, weil vielleicht der Wasserdampf nicht frei genug zirkulirt. In den vertikal absteigenden 4 bis 6 mm weiten Wurmröhren muss dagegen meines Erachtens ziemlich regelmässig eine Bethauung stattfinden, denn am Tage ist die Luft in den oberen Regionen warm und nimmt Wasserdampf auf, in der Nacht kühlt sie stark ab und das Geflecht der Wurzelhaare bietet der Condensation des Dampfes eine ungemein günstige Fläche. Dies condensirte Wasser wird aus der Erde des Wurmröhres Salze resp. Gase aufnehmen und Wasser wie Salze können von den rings umspülten Wurzelhaaren aufgenommen werden, Tag für Tag, bei feuchtem Wetter wie bei Dürre¹⁾.

Ich bin weit entfernt davon zu glauben klare Einsicht in die Rolle der Wurzeln des Untergrundes erlangt zu haben, aber das darf wohl gesagt werden, dass die freie Lage der Wurzeln in der Luft nicht als Beweis ihrer relativen Nutzlosigkeit gelten kann, sondern dass wahrscheinlich diese Eigenthümlichkeit das Zweckmässigste für ihre Funktion an diesen Stellen sein wird. Auch der Umstand, dass das Gewicht der Wurzeln im Obergrund dasjenige der im Untergrund befindlichen Wurzeln um ein Vielfaches übertrifft, ist nicht so voll beweisend wie es auf den ersten Blick erscheint. Man kann davon absehen, dass die Wurzelstämme immer etwas mehr Gewicht geben müssen, wie die darunter ausgebreiteten zugehörigen Wurzeläste, weil letztere virtuell in ersteren mit enthalten sind. Thiel's Untersuchungen zeigen, dass dies Moment wenig ins Gewicht fällt. Dagegen ist zu bedenken, dass die Wurzeln des Obergrundes in der trockenen Jahreszeit, wo dieser Grund sogar sein Quellwasser abzugeben beginnt und daher kaum freies Wasser verdichten wird, nicht viel zu beschaffen vermögen. Die Einrichtung wird wohl so getroffen sein, dass bei günstiger Witterung diese Wurzeln durch ihre grosse Zahl das gut zu machen haben, was durch ihre Thätigkeit bei trockenem Wetter verloren geht. So können weniger Wurzeln im Untergrund, die stets funktionieren, ganz wohl zahlreichere Wurzeln im Obergrund, die nicht immer funktionieren können, aufwiegen. Ausserdem können die tief gehenden Wurzeln zeitweilig für die Erhaltung der Pflanze unentbehrlich und unersetzlich sein. Ich weiss es zwar nicht, aber ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass unser Getreide sämmtlich vor der Reife verdorren

1) Bei Untersuchung der Graswurzeln ist mir ein Umstand aufgefallen, den ich erwähnen möchte. In dem leider ungünstigen Boden, in welchem ich grub, zeigten sich die unter der Erdoberfläche (in den Gängen) sitzenden Wurzeln eben so mit Erde bedeckt, wie Sachs es in Fig. 17 u. 18 seiner Physiologie zeichnet, im Untergrund waren die Wurzelhaare völlig frei und die Wurzeln boten das schönste gefiederte Aussehen dar.

würde, wenn es seine Wurzeln nicht tief in den Untergrund bringen könnte. Vielleicht wird sich ja die Gelegenheit zu Beobachtungen darüber ergeben, was aus Feldern wird, in denen seit einer Reihe von Jahren die Würmer gründlich ausgerottet worden sind, obgleich letzteres nach den Beobachtungen v. Lengerke's ja merkwürdig schwierig zu sein scheint.

Eine Frage die ich nicht habe zur Erledigung bringen können, ist die nach dem Verhalten der Würmer zu den Wurzeln. Abgesehen davon, dass ich nie eine Andeutung darüber habe finden können, dass die Würmer lebende Wurzeln angehen, scheint mir dies auch deshalb unmöglich, weil wegen ihrer grossen Zahl keine Pflanze würde aufkommen können, wenn sie den Wurzeln nachgingen. Eine andere Frage ist dagegen, ob sie abgestorbene Wurzeln fressen.

Es liegt der Gedanke sehr nahe, dass die Thiere die Wurzelreste des Getreides, die ja nach Weiske¹⁾ die sehr erhebliche Menge von 571 bis 2772 kg trockner Substanz per Morgen betragen, fressen und als brauchbare Erde wieder an die Oberfläche schaffen. Anderenfalls spülte ein grosser Theil der Wurzelmasse in die Tiefe und ging so zunächst definitiv verloren. Ich habe keine Gelegenheit gehabt, mir ein endgültiges Urtheil in dieser Frage zu bilden und möchte erneute Untersuchungen darüber empfehlen. Ich denke mir allerdings, dass das von Darwin so sehr vertheidigte Erdfressen der Würmer damit zusammenhängt, dass sie den abgestorbenen Wurzelhaaren nachgehen und diese nicht ohne Erde aufzunehmen vermögen.

Es hat einiges Interesse, die anderen Thiere, welche in der Gartenerde vorkommen, kennen zu lernen, da, wenn in anderer Erde mehr Thiere gefunden werden, diese mit spezifischen Verhältnissen zusammenhängen dürften. Mein College K. Möbius war so freundlich die gefundenen Thiere, deren Zahl und Masse übrigens sehr gering ist, näher zu bestimmen. Am zahlreichsten sind kleine weisse Poduren (wahrscheinlich wurzelfressend) und zwar *Lipura fimentarius* Schrank-*Anurophorus fimentarius* Nicolet. Seltener *Campodea staphylinus* Westwood. Eine kleine weisse Spinne vielleicht *Microneta* Menge. Ein Myriapode *Geophilus subteraneus* Leach (würmerfressend), ferner häufig ein *Julus*. Ausserdem, aber keineswegs häufig ein kleiner Wurm *Enchytraeus Perrieri* Vejdowsky. Dagegen sind nach Müller die *Enchytraeus* im Walde ausserordentlich häufig. Vereinzelt wurden auch eine *Mermis*, eine Landplanarie sowie verschiedene *Ascariden* gefunden.

Schliesslich stellt sich die praktische Frage, wie es uns gelingen soll, die Thätigkeit der Würmer nach unserem Willen und zur Verbesserung des Landes zu benutzen.

Wenn meinerseits nur Wenig darüber gesagt werden kann, so ist zu bedenken dass die Autoritäten bezüglich der Haide noch nicht besonders gut übereinstimmen und die Untersuchung des Moors vielleicht noch zu wünschen lässt.

Borggreve z. B. hat sich²⁾ direkt gegen Müller's Arbeit ausgesprochen. Die Regenwurmmenge, sagt er, sei nur Folge nicht indirekte Ursache des

1) H. Weiske, die landwirthschaftl. Versuchsstationen 1871, Bd. 14, S. 105. Es sind hier allerdings die Stoppeln mitgewogen, dagegen wurden nur die Wurzeln bis 10 Zoll Tiefe bestimmt. Nach Thiel findet sich tiefer als jene 0,26 m ein so erhebliches Gewicht von Wurzeln, dass dasjenige der eigentlichen Stoppel, welches hier nicht interessirt, dadurch aufgewogen werden mag.

2) Anmerkung zu Metzger's Uebersetzung: Einige Züge . . .

lokalen Vegetationscharakters. Der Ausspruch ist jedoch, so weit ich sehe, nur eine Meinung, denn Borggreve verweist auf von ihm nach grossen Gesichtspunkten rubricirte Ursachen der Veränderungen des Vegetationscharakters. Diese Gesichtspunkte¹⁾ sind nur pflanzengeographischer Art und wurden von dem Botaniker Focke anders gedeutet, wie von Borggreve. Letzterer kommt zu der Ansicht, dass aus Haide, wenn man sie nur in Ruhe lasse, von selbst Wald werde. Diese Ansicht steht aber wiederum mit den Untersuchungen von Müller, soweit sie den Buchenwald betrifft, in scharfem Widerspruch.

Bezüglich der jetzt sehr gelobten Moordammkultur, bei welcher das Moor mit einer Schicht Sand überworfen wird, hat folgende Aeusserung von Bokelmann²⁾ für uns Interesse. Er sagt: „Wenn die Pflanzen nur oberhalb des Moores einen günstigen Standort haben, so können sie mit ihren Wurzeln in die Tiefe dringen und sich des dort vorhandenen Stickstoffs bemächtigen. Ein überraschendes Beispiel hierfür konnte ich an unserer Westküste wahrnehmen. Dort hatte man den sehr freien Dünensand als Auflage auf den Moorboden benutzt, aber der Wind hatte mit ihm gespielt, ihn zum grossen Theil hinweggeführt und die Anlage war total verfehlt. Trotz reichlicher Gaben von Kali und Phosphorsäure war der dort gebaute Hafer sehr schwach und kümmerlich, nichtsdestoweniger aber hatten die einzelnen Pflanzen einen förmlichen Busch von Wurzeln mit denen sie aber, weil der günstige Standort oberhalb des Moores nicht vorhanden war, auch nicht tief genug in den Moorboden hineindringen konnten und hier hätte sicher eine kleine Gabe Stickstoff gute Dienste geleistet.“ Aus dieser Schilderung geht klar hervor, dass Wurmröhren zum Gedeihen der Pflanzen gefehlt haben, ob die Wurzeln unter dem Sand wirklich in das Moor eindringen, habe ich nicht erfahren können.

Unbewusst mag den Lebensbedingungen der Würmer Vorschub geleistet sein, wo die schwierige Aufgabe, nicht urbares oder öde gelegtes Land wieder anzubauen, gelungen ist, es fehlen aber noch alle Nachrichten, wie und ob sich Würmer an solchen Stellen angesiedelt haben. Es lässt sich im Voraus schwer angeben, wie die Würmer sich am besten ansiedeln lassen, da es jedoch vielleicht erwünscht sein könnte meine Meinung darüber zu hören, will ich sie mit der Reserve, dass sie nur rein theoretisch ist und von der Praxis gewiss modifizirt werden wird, angeben. Man sollte versuchen, *sofort die ganze Lebensgemeinschaft herzustellen, indem man an geschützteren Stellen den Grund einen Meter tief mit einem Meter Radius aushebt und neutralen Sand statt dessen einführt, der Obergrund braucht kaum Erde, dagegen Blätter und etwas Dünger, in den Grund kommen 3 bis 4 *Lumbricus terrestris* und ebensoviel *Lumbricus communis* und wenn sie zu haben sind einige Wurmcocons, die von Juni bis Oktober in der Gartenerde gefunden werden. Dann säet oder pflanzt man was zweckmässig erscheint. Ein grosser Uebelstand ist die Festigkeit des Untergrundes, der wohl häufig die Ausbreitung der Würmer hindert und vielleicht in der Umgegend der Ansiedelung gewaltsam durchbrochen werden muss.

Im Vorstehenden habe ich geglaubt, den einmal durch Müller, Darwin und mich gegebenen Anstoss nachdrücklich weiter verfolgen zu sollen. Ich

1) Borggreve, Haide und Wald, Berlin 1879 und Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen II, p. 406 und III und p. 217.

2) Die Ausnutzung unserer Hoch- und Nieder-Moore II, von Direktor H. W. Bokelmann, Kiel, Norddeutsche Landwirth VII, No. 23.

hoffe deutlich nachgewiesen zu haben, dass es sich nicht um ein *Curiosum* handelt, sondern dass unsere Kenntniss oder Unkenntniss von dem Leben und Treiben des Regenwurms mit der Entwicklung der Wissenschaft von Land- und Forstkultur, sowie mit manchen Zweigen der Physiologie und Geographie der Pflanzen innig verknüpft ist.

Erklärung der Tafeln XVI u. XVII.

Fig. 1. Erdwand aus dem Garten mit freigelegten Röhren des *Lumbricus terrestris* etwa sechsmal verkleinert. Von der Oberfläche bis *f* Schicht der Humuserde, von da bis *g* lehmiger Sand, darunter lockerer Korallensand. Bei *a* sieht man einen *Lumbricus terrestris* im Lager, neben ihm weisse Wurzeln, die Auskleidung des Lagers mit kleinen Steinchen ist wegen zu bedeutender Verkleinerung wenig deutlich. Bei *b* liegt *Lumbricus communis* aufgeklaubt im Winterlager, bei *c* die Höhle aus der ein Wurm herausgenommen ist. *d* äussere etwas trichterförmige Mündung eines Rohrs, mit Exkrementen erfüllt (in der Figur nicht genügend deutlich). In diesen stecken Blattstiele und mehr in der Tiefe liegen frische Stücke von Kohlblättern, welche der Wurm dorthin geschafft hatte, *e* Rosenkohlpflanze, sehr viele Wurzeln abgeschnitten. *f* vermoderte Baumwurzel, die Rinde theilweise abgefallen, innerhalb derselben wachsen frische Wurzeln, *g* noch lebende Baumwurzel, in der Tiefe horizontal wachsend; *h* frisches Rohr noch ohne Humus, aber bereits von einer Wurzel des Kohls durchwachsen, dies Rohr ging weit nach links hinüber, wurde aber, weil es die Präparation anderer Gänge hinderte, theilweise abgetragen, *i* Wurmröhren mit Humus belegt, fast alle enthalten Wurzeln des Kohls, auch in der schwarzen Erde sieht man einige Gänge, die übrigens relativ frisch sind, daher keine Wurzeln enthalten. Im Untergrund vereinzelte Steine.

Fig. 2. Theil eines freigelegten Rohrs, *a* mit Wurzeln circa zweimal vergrössert. Bei *b* liegt ein altes Wurmeocoen, dasselbe wird an den Seiten der Röhren abgesetzt, doch meistens im Obergrund, nicht wie hier gezeichnet im Untergrund. Bei *d* reichliche Entwicklung der Wurzelhaare, die an den anderen Strecken fortgelassen worden sind.

Fig. 3 zweimal vergrössert, *a* ziemlich frisches Wurmrrohr, die schwarzen Höcker in demselben sind die frisch abgelegten Exkremente; *b* eine Baumwurzel durchgebrochen, man sieht zwischen Rinde und Mark eine frische (Kohl-) Wurzel wachsen. Das Loch im Mark der Wurzel rührt von einem bohrenden Insekt her. Bei *c* kleinere Wurmlöcher und Gänge, bei *d* wächst in einem solchen Gang eine Wurzel, diese Gänge sind in der Regel humusfrei, oder höchstens etwas schwärzlich.

Fig. 4. Schnittfläche durch ein Wurmrrohr *A*, die Humusauskleidung desselben *B*, und den lehmigen Sand *C*, circa 40mal vergrössert. In dem Rohr verliefen viele Wurzeln, von denen drei gezeichnet sind; *D* ein junger Trieb mit zahlreichen aber noch kurzen Wurzelhaaren, die eine Wurzel macht einen ähnlichen Trieb, der aber noch keine Wurzelhaare hat. Bei *e* ein Netz von Wurzelhaaren vielleicht bei der Präparation ein wenig verwirrt, es sind jedoch keine Pilzfäden, sondern jeder Faden liess sich bis zur breiten Basis, mit welcher er, wie an mehreren Stellen angedeutet, aus den Epidermiszellen der Wurzel entspringt, verfolgen; *h* Ablagerungen erdigen Materials auf den Wurzelhaaren. Im Sande sieht man an zwei Stellen bei *e* Wurzelhaare, ebenso in der Spalte der Erde bei *g*. In der Erde Gänge, wahrscheinlich Wasseradern, im Sand Höhlen oder Lücken, die constant so vorkommen und die jedenfalls nicht unmittelbar auf thierische Thätigkeit zurückführbar sind.