

## Humusformengliederung aus bodenzoologischer Sicht

von

Graefe, U.\*

Die besondere Rolle, die Bodentiere bei der Humusformengenese spielen, kommt in Bezeichnungen wie "Arthropodenmoder" (HARTMANN 1952) oder "Vermimull" (GREEN et al. 1993) zum Ausdruck. Während der Humusmorphologe mehr den Spuren tierischer Tätigkeit nachgeht, interessiert sich der Bodenzologe auch für die Artenzusammensetzung, die Siedlungsdichte und die Vertikalverteilung der Tiere im Bodenprofil. Er muß spezifische Extraktionsmethoden anwenden, um die Tiere aus dem Verborgenen herauszulocken. Wegen der großen Artenvielfalt ist die Bodenfauna als Ganzes praktisch nicht erfaßbar. Es können nur Teilbereiche untersucht werden. Eine Aufteilung ist z.B. nach systematischen (Taxozönosen) oder funktionellen Gruppen (Zersetzer, Räuber), nach der Körpergröße (Makrofauna, Mesofauna, Mikrofauna) oder dem Aufenthalt der Tiere im Porenwasser bzw. in der Porenluft (Bodenlösungsfauna, Bodenluftfauna) möglich. Körpergröße und Siedlungsdichte verhalten sich in der Regel umgekehrt proportional. Die Bedeutung einer Tiergruppe läßt sich deshalb besser an der Biomasseabundanz ( $\text{g/m}^2$ ) oder dem jährlichen Energieumsatz ( $\text{kJ/m}^2$ ) ablesen. BECK (1993) hat diesbezügliche Angaben für einen Mull- und einen Moderstandort zusammengestellt. Abbildung 1 zeigt die Verhältnisse für die wichtigeren Bodentiergruppen. Danach nehmen die Anneliden jeweils den obersten Rang ein. Im Mull stehen die Regenwürmer an erster Stelle, gefolgt von den Enchyträen. Im Moder kehrt sich die Reihenfolge um. Die Mesofauna-Gruppen (Enchyträen, Collembolen, Milben) sind im Mull kaum weniger aktiv als im Moder. Die Bioturbation verwischt jedoch ihre Spuren schneller.

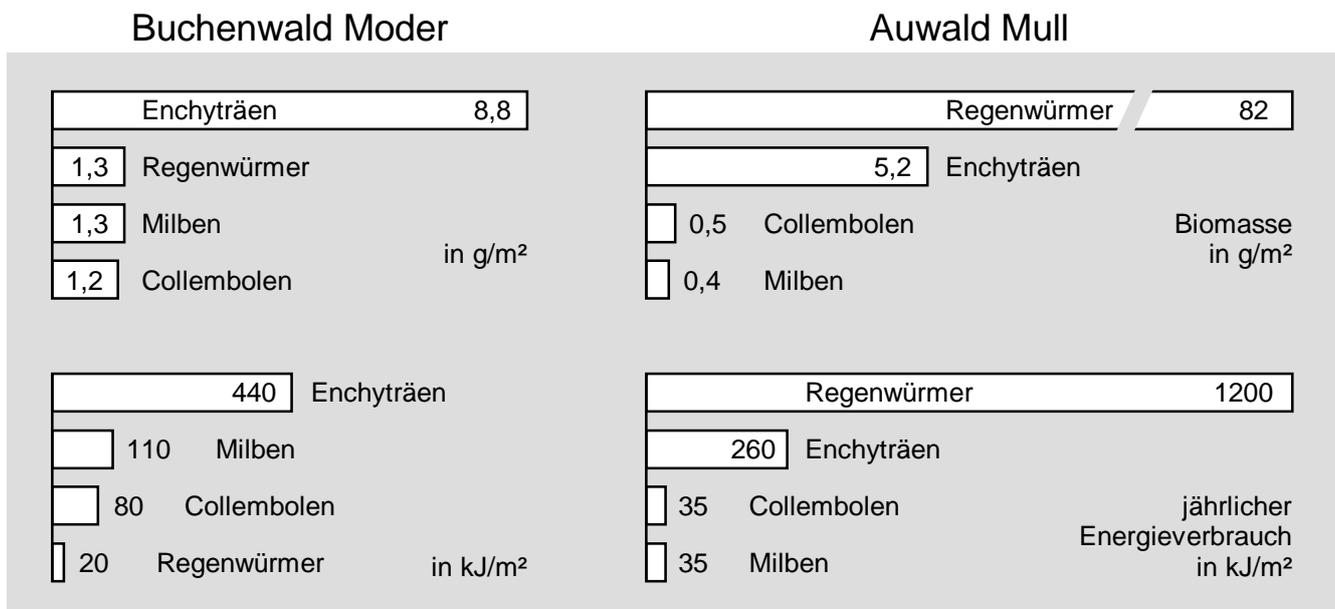


Abb. 1: Durchschnittliche Biomasseabundanz (oben) und jährlicher Energieverbrauch (unten) wichtiger Bodentiergruppen im Buchenwald mit Moder und im Auwald mit Mull (verändert nach BECK 1993)

Eine Betrachtung auf der Ebene von Tiergruppen verschleiert allerdings wesentliche Unterschiede, die erst dann zutage treten, wenn man sich die Artenzusammensetzung ansieht. Die in Abbildung 2 oben dargestellten Aufnahmen der Enchyträenzönose mögen das beispielhaft illustrieren. Während sich die Gesamtabundanzen nur unwesentlich unterscheiden, sind die Arten in den Probenkollektiven 5-10 und 11-14 komplett ausgetauscht. Am untersuchten Standort ist ein Moder-Mull-Mosaik ausgebildet, das auf die Verschlechterung der Humusform im Stammfußbereich der Bäume zurückzuführen ist.

Vergleicht man die Zönosen verschiedener Standorte und Humusformen (z.B. Tab. 1 in GRAEFE 1993a), findet man sowohl regelmäßig wiederkehrende Artenmuster als auch charakteristische Trennlinien. Die Annelidenzönose der Waldmeßstation Elberndorf im Rothaargebirge ist beispielsweise völlig identisch mit der auf den Versuchsflächen im Solling. Da Bodenorganismen nicht isoliert nebeneinander leben, sondern eine Interaktionsgemeinschaft bilden (d.h. als Nahrungskonkurrenten, im Räuber-Beute-Verhältnis, als Symbionten sich gegenseitig fördern oder hemmen), ist es plausibel anzunehmen, daß auch die anderen Taxozönosen, einschließlich die der Mikroorganismen, mehr oder weniger identisch sind. Wir nennen die regelhaft zusammengesetzte Interaktionsgemeinschaft von Bodentieren und Mikroorganismen wegen ihrer funktionalen Bedeutung im Ökosystem "Zersetzer-gesellschaft" (GRAEFE 1993a, b). Sie kann auch an Teilausschnitten ohne eine vollständige Inventur aller beteiligten Organismen typisiert und identifiziert werden. Hierfür sind die Anneliden im besonderen Maße geeignet, nicht zuletzt deshalb, weil sie als Angehörige der Bodenlösungsfauna in der gleichen chemischen Umwelt wie die Mikroorganismen leben (GRAEFE 1991).

In der Humusformenreihe Mull-Moder-Rohhumus erfolgt eine gleitende Veränderung der Annelidenzönose mit einem vollständigen Artenwechsel von einem Endpunkt zum anderen. Dabei gibt es keinen generellen Unterschied zwischen Moder und Rohhumus. Die Artenzahlen im Rohhumus sind meistens etwas geringer, aber es sind keine anderen Arten als im Moder. Der Artenwechsel findet zwischen Moder und Mull statt. Aus bodenzoologischer Sicht erscheint die Gliederung der Humusformen in die drei Hauptgruppen daher etwas gezwungen. MÜLLER (1879) unterschied ursprünglich nur die beiden Typen "muld" und "mor". Später führte VON ZEZSCHWITZ (1976) indirekt wieder eine Zweigliederung ein, indem er die Kategorien "Mineralboden-Humusform" und "Auflage-Humusform" bildete und die Grenze durch die Moder-Gruppe legte. Um der Frage nachzugehen, ob es eine zoologisch begründbare Trennlinie gibt, wollen wir uns diesen Zwischenbereich etwas genauer ansehen.

Das folgende Beispiel stammt aus einer in Nordrhein-Westfalen durchgeführten Untersuchungsserie an Rasterpunkten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Die bodenzoologische Probenahme erfolgte ähnlich wie die bodenanalytische in einem Probekreis um die Profilgrube. Die Proben wurden nicht gemischt, sondern einzeln ausgewertet, wobei sich deutliche Unterschiede ergaben (Abb. 2). Die Annelidenzönose an den Probestellen 1-4 ist anders zusammengesetzt als an den Stellen 5-10, obwohl die Humusform Mull gleich war. Die Veränderung bei 1-4 erklärt sich durch die räumliche Nähe zum Stammablaufbereich von drei Altbuchen und zu einer Eiche. Näher am Stammfuß war dann auch die Humusform umgewandelt. In diesem Bereich wurden die Zusatzproben 11-14 gezogen. Auf die zunehmende Säurebelastung durch den Stammablauf reagiert die Enchyträenzönose mit einem Austausch der empfindlicheren Arten durch wenige empfindliche. Die Regenwürmer reagieren mit Abundanzrückgang bis zum Artenschwund.

BELOTTI & BABEL (1993) stellten fest, daß trotz hoher Säuredeposition die Humusformen vieler Standorte innerhalb von 25 Jahren morphologisch weitgehend unverändert geblieben sind. Sie erklären das mit der Redundanz, also der Mehrfachbesetzung von Funktionen. Wenn eine Art wegen Überschreitung der Toleranzgrenzen ausfällt, ist eine andere zur Stelle, die die gleiche Rolle übernimmt. Die Zersetzungsfunktion ist immer mit hoher Redundanz belegt, was schon aus der Artenvielfalt der Bodenorganismen hervorgeht. Der Stoffkreislauf im Ökosystem kann deshalb auch über einen weiten Schwankungsbereich von Umweltbedingungen aufrechterhalten werden. Für die Stabilität von Humusformen gibt es trotzdem Grenzen. Sie sind dann erreicht, wenn die Schlüsselarten ausfallen. Schlüsselarten für Mull und seine korrespondierende Zersetzer-gesellschaft sind die mineralbodenbe-



Abb. 2: Kleinräumige Heterogenität der Annelidenzönose im Probekreis eines Rasterpunkts der Bodenzustandserhebung im Wald. BZE 139 (R2581/H5767) Kernmünsterland.

wohnenden Regenwürmer, also z.B. *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea* oder auch *Lumbricus terrestris*. An den Probestellen 11-14 sind diese Arten verschwunden. Bei 1-4 treten sie in geschwächter Abundanz noch auf. Hier ist die Kampfzone. Es herrscht ein labiler Zustand, der umzukippen droht. Bei der Langzeitbeobachtung wird vor allem festzustellen sein, ob sich der Flächenanteil des einen Zustands gegenüber dem anderen verändert hat oder nicht.

Ein Humusformenmosaik mit mehr oder weniger scharfen Grenzen zwischen Mull und Auflagehumusformen ist nicht selten gerade an besseren Standorten anzutreffen. Wir begegnen hier einem Phänomen, das man im thermodynamischen Sinne als Selbstorganisation auffassen kann und das für die relative Stabilität der Humusformen offenbar mitverantwortlich ist. Die Thermodynamik oder Synergetik als Lehre vom Zusammenwirken in komplexen Systemen (HAKEN 1981) beschreibt, wie in einem chaotischen Beziehungsgefüge Muster und Ordnungszustände entstehen und stabil bleiben, d.h. nach einer Störung dahin zurückschwingen. HAKEN (1981) benutzt den Begriff des "Ordnern", der andere Systemelemente "versklavt", die aber wiederum den Ordner steuern. Im System Zersetzer-gesellschaft/Humusform wirken die Schlüsselarten als Ordner. Sie mischen die organische Substanz in den Mineralboden ein, so daß sich dort auch Mikroorganismen verstärkt entfalten können, ohne die die Regenwürmer nicht existenzfähig wären. Die Versauerung ist ein Störfaktor. Dem steuern die tiefgrabenden Regenwürmer gegen, indem sie basenreiches Material aus dem Unterboden nach oben schaffen. Die eingemischte organische Substanz verhindert durch Komplexbildung das Auftreten toxischer Aluminiumspezies im Ah. Erst wenn sich die Regenwürmer zurückgezogen haben, kippt das System in einen anderen Gleichgewichtszustand.

Die Humusform und die Zersetzer-gesellschaft eignen sich als aggregierte Parameter zur Kennzeichnung und flächenhaften Abgrenzung von Ökosystemzuständen. Beide Betrachtungsebenen sollten eine aufeinander abgestimmte Gliederungssystematik verwenden, die das Prozeßgeschehen widerspiegelt. Auf diese Weise wäre es auch möglich und sinnvoll, die Humusformtypologie auf alle Ökosysteme auszuweiten. Hierin sehe ich eine Aufgabe, die der Arbeitskreis Humusformen und die Kommission Bodenbiologie der DBG gemeinsam angehen sollten.

Die Untersuchung am BZE-Rasterpunkt 139 wurde im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

## Literatur

- BECK, L. (1993): Zur Bedeutung der Bodentiere für den Stoffkreislauf in Wäldern. *Biologie in unserer Zeit* 23: 286-294.
- BELOTTI, E., BABEL, U. (1993): Variability in space and time and redundancy as stabilizing principles of forest humus profiles. *Eur. J. Soil Biol.* 29: 17-27.
- GRAEFE, U. (1991): Ein Enchyträentest zur Bestimmung der Säure- und Metalltoxizität im Boden. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 66: 487-490.
- GRAEFE, U. (1993a): Die Gliederung von Zersetzer-gesellschaften für die standortsökologische Ansprache. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 69: 95-98.
- GRAEFE, U. (1993b): Veränderungen der Zersetzer-gesellschaften im Immissionsbereich eines Zementwerkes. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 72: 531-534.
- GREEN, R. N., TROWBRIDGE, R. L., KLINKA, K. (1993): Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monograph* 29. 49 pages.
- HAKEN, H. (1981): *Erfolgsgeheimnisse der Natur - Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken.* Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart. 255 Seiten.
- HARTMANN, F. (1952): *Forstökologie.* Georg Fromme, Wien. 460 Seiten.
- MÜLLER, P. E. (1879): Studier över skovjord, som bidrag til skovdyrkningens theorie. I. Om bøgemuлд og bøgemor paa sand og ler. *Tidsskr. Skovbr.* 3: 1-124.
- ZEZSCHWITZ, E. VON (1976): *Ansprachemerkmale der terrestrischen Waldhumusformen des nordwest-deutschen Mittelgebirgsraumes.* *Geol. Jb. F3:* 53-105.