

# Böden als Lebensraum für Organismen

## Zusammenfassung einer Studie

Veröffentlicht in „Hohenheimer Bodenkundliche Hefte“ Heft 63;

Böden als Lebensraum für Organismen

- Regenwürmer, Gehäuselandschnecken und Bodenmikroorganismen in Wäldern Baden-Württembergs



Von

*Sommer, M.; Ehrmann, O.; Friedel, J.K.; Martin, K.I.; Vollmer, T. und Turian, G.*

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| 1. Einleitung.....  | 2  |
| 2. Auswahl der untersuchten Standorte und Arbeitsablauf.....          | 3  |
| 3. Böden als Lebensraum für Bodenorganismen .....                     | 6  |
| 4. Das Bewertungsverfahren .....                                      | 9  |
| 4.1 Böden als Lebensraum für Regenwürmer .....                        | 11 |
| 4.2 Böden als Lebensraum für Gehäuselandschnecken .....               | 13 |
| 4.3 Böden als Lebensraum für Mikroorganismen .....                    | 15 |
| 4.4 Integration der Organismengruppen in ein Bewertungsverfahren..... | 17 |
| 5. Ausblick .....   | 19 |
| 6. Literatur .....  | 20 |

# 1. Einleitung

Böden bieten einer Vielzahl von Organismen Lebensraum. In verschiedenen Bodenschutzgesetzen wird diese Funktion benannt, und unter anderem um ihrer Erfüllung Willen sollen Böden geschützt werden (BodSchG, 1991; BBodSchG, 1998). Boden beanspruchende Planungen müssen deshalb nach den jeweils einschlägigen Fachgesetzen auch die Belange des Bodens berücksichtigen.

Die Minimierung von Bodenschäden und Bodenverbrauch im Rahmen von eingreifenden Vorhaben setzt abwägungs- und entscheidungstaugliche Informationen über die potenziell betroffenen Böden voraus. Eines der entscheidungsrelevanten Merkmale ist die *Leistungsfähigkeit von Böden in ihren Funktionen im Naturhaushalt* (§2 BBodSchG). Dazu zählt insbesondere die Funktion als „Lebensraum für ... Bodenorganismen“. Aufgrund der unzureichenden Datenlage war es bisher nicht möglich, Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit im Naturhaushalt als Lebensraum für Organismen zu bewerten<sup>1</sup>. Deshalb fehlt bislang auch im entsprechenden Leitfaden für Baden-Württemberg (Umweltministerium Baden-Württemberg, 1995) ein geeignetes Modul. Die vorliegende Studie möchte nun diese Lücke für Baden-Württemberg schließen, indem sie die fachlichen Zusammenhänge Böden - Organismen erhellt.

Böden bieten in allen Raumrichtungen unterschiedlichste Lebensräume für verschiedenste, ja entgegengesetzte Ansprüche der darin lebenden Organismen. Das heißt: Was für die einen, vielleicht seltenen Spezialisten unter den Organismen, gute Bedingungen sind, kann die Existenz anderer ausschließen.



Jeder Boden zeichnet sich durch eine besondere Biozönose aus. Nicht jede dieser Lebensgemeinschaften kann in ein Bewertungsschema integriert werden. Deshalb können Bewertungen von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit als Lebensraum nur jeweils für bestimmte Organismen, allenfalls Organismengruppen zutreffen. Mit der Zahl der berücksichtigten Organismen und Organismengruppen werden diese Bewertungen differenzierter. Gleichzeitig kann sich aber, bei Organismengruppen mit gegenläufigen Abhängigkeiten von Bodeneigenschaften (s.u.), die flächenhafte Differenzierung der Leistungsfähigkeit von Böden verringern. Diese flächige Differenzierung ist aber gerade das Wesensmerkmal jeglicher Bodenbewertung und wird von der Verwaltungspraxis einge-

<sup>1</sup> Obwohl den Autoren bewußt ist, daß mit einer „Bewertung“ stets einer normativer Akt verbunden ist und die Gefahr einer Einteilung in „gute“ und „schlechte“ Böden hinsichtlich des Lebensraumes für Organismen besteht, verwenden wir nach einer Mehrheitsentscheidung im Autorenkollektiv diesen Begriff. Inhaltlich ist eine „Beurteilung“ von Böden gemeint.

fordert. Ohne flächige Differenzierung in Flächen hoher und geringer Funktionserfüllung bräuchte es keinen Bodenschutz. Alles wäre gleich zu bewerten, Eingriffe, wie etwa der Straßenbau, wären überall gleich schädlich. Dies entspricht aber nicht der natürlichen Vielfalt der Böden, der Pedodiversität. Jedes entwickelte Bewertungsverfahren muss sich folgerichtig auf *ausgewählte Organismen* beschränken.

Böden sind nach ihrer Leistungsfähigkeit als Lebensraum nur für solche Organismen unterscheidbar und damit bewertbar, deren Vorkommen durch abiotische Bodeneigenschaften bestimmt wird. Wichtigstes Kriterium bei einer Auswahl der Organismengruppen ist deshalb die prinzipielle Abhängigkeit der gewählten Organismen von Böden bzw. den (abiotischen) Bodeneigenschaften. In der vorliegenden Studie wurden *Mikroorganismen*, *Regenwürmer* und *Gehäuselandschnecken* als Organismengruppen ausgewählt, weil

- das Vorkommen dieser Organismengruppen maßgeblich durch abiotische Bodeneigenschaften bestimmt wird (v.a. Gehäuselandschnecken),
- sie einen bedeutenden Teil der gesamten Organismenbiomasse ausmachen (Mikroorganismen, Regenwürmer),
- sie für ökosystemare Stoffumsätze in Böden von herausragender Bedeutung sind (Regenwürmer und Mikroorganismen),
- sie unterschiedliche vertikale Lebensräume besiedeln.

## 2. Auswahl der untersuchten Standorte und Arbeitsablauf

Baden-Württemberg besteht aus sehr unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten mit verschiedensten Böden. Entsprechend räumlich differenziert stellt sich damit die Leistungsfähigkeit der Böden hinsichtlich der verschiedenen Bodenfunktionen dar. Da mittlerweile die Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg (BÜK200) flächendeckend vorliegt, können nun in allen Naturräumen Baden-Württembergs repräsentative Böden bzw. Bodengesellschaften ausgewählt werden.

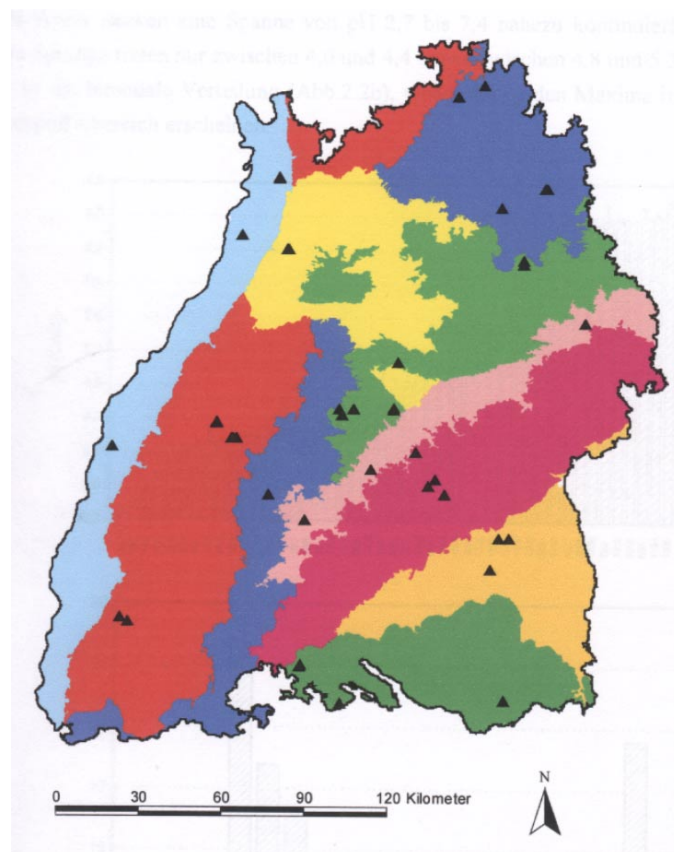
Nach der räumlichen Repräsentanz der Naturräume wurden 40 Standorte in Baden-Württemberg ausgewählt. Dabei sollten die Feuchteverhältnisse, die Humusmengen sowie die pH-Werte mit ihren Extremen erfaßt sein.

Folgende Standorte wurden in die Untersuchung miteinbezogen:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1. Gneis - Schwarzwald         | Braunerde, Auennaßgley                              |
| 2. Basalt – Hegau              | 2 Pelosol-Braunerden                                |
| 3. Buntsandstein – Schwarzwald | Braunerde, 2 Podsole, 2 Stagnogleye                 |
| 4. Muschelkalk                 | Rendzina, Braunerde-Rendzina, Braunerde-Terra-fusca |

- |  |  |
|--|--|
| 5. Lettenkeuper                        | Pelosol-Pseudogley, Parabraunerde- Pseudogley, Pseudogley- Parabraunerde                                   |
| 6. Ton- und Sandstein - Keuperbergland | Pelosol- Braunerde, Braunerde- Parabraunerde, Braunerde- Pelosole, Pseudogley, 2 Auengleye, Kalkanmoorgley |
| 7. Albvorland                          | Pelosol- Pseudogley, Braunerde-Pelosol, Anmoorgley   |
| 8. Kuppenalb                           | Rendzina, 2 Terra-fusca (Kst, Dol), Kolluvisol   |
| 9. Molasse                             | Pararendzina, Pelosol-Pseudogley   |
| 10. Altmoräne                          | Pseudogley, Erd-Niedermoor   |
| 11. Jungmoräne                         | Braunerde  |
| 12. Löß – Kraichgau                    | Pararendzina, Parabraunerde  |
| 13. Rheintal                           | Alluvium: Gley-Pseudogley, Erd-Kalkniedermoor<br>Dünen: Pararendzina- Braunerde, Braunerde                 |

**Abb.2.1: Lage der untersuchten Standorte in Baden-Württemberg**



Hinsichtlich der Einstufung des Wasserhaushaltes nach Hydromorphiegrad ergibt sich folgende Verteilung der Standorte:

|    |                         |    |
|----|-------------------------|----|
| 1. | Stauwasserböden         | 12 |
| 2. | Grundwasserböden        | 6  |
| 3. | (Entwässerte) Moore     | 2  |
| 4. | Nicht-hydromorphe Böden | 19 |

Durch die Auswahl der Standorte wurde die Bandbreite der relevanten Bodeneigenschaften weitgehend abgedeckt. Zudem galt es, anthropogene Einflüsse zu minimieren. Die Untersuchung erfolgte daher weitgehend auf Standorten geringster Hemerobie, den Wäldern (Altholzbestände). Nach der (Labor-) Analyse der Böden und einer Beschreibung der jeweiligen Organismengruppe wurden die ausgewählten *Variablen* klassifiziert (Biomasse, Arten- Individuenzahl etc.). Danach erfolgte eine Faktorenanalyse, d.h. es wurden die Zusammenhänge zwischen den standörtlich / bodenkundlichen Kenngrößen (pH, BFS, etc.) und den Variablen jeder Organismengruppe untersucht. In einem letzten Schritt erfolgte dann die Umsetzung dieser Analyse in ein Beurteilungsschema. Bei Kenntnis der relevanten Bodenkenngrößen sollte nun eine spezifische Prognose der einzelnen Variablen möglich und somit die Grundlage für eine Beurteilung von Böden in ihrer Leistungsfähigkeit als Lebensraum für Organismen geschaffen sein.

Das prinzipielle Vorgehen bei der Entwicklung des Beurteilungsverfahrens ist in Abb. 2.2 dargestellt. Im Arbeitsablauf der Projekte erfolgte zunächst die Standortauswahl und die Beprobung sowohl der Böden als auch der entsprechenden Organismen.

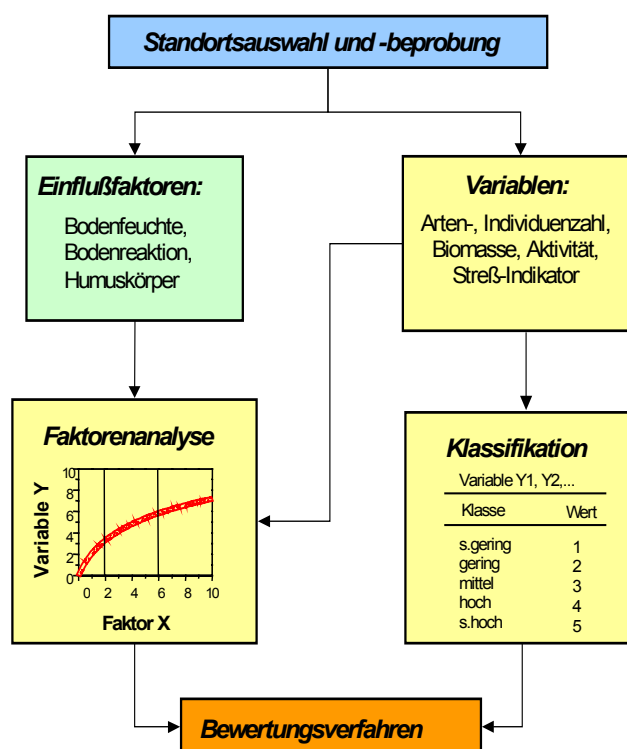


Abb. 2.2: Arbeitsablauf in den Projekten

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß die Standortauswahl zu einer typologisch wie von den Merkmalen her repräsentativen Stichprobe der Böden Baden-Württembergs geführt hat.

### 3. Böden als Lebensraum für Bodenorganismen

Die Abhängigkeit der Bodenorganismen von relevanten, abiotischen Bodeneigenschaften lässt Gemeinsamkeiten, aber auch prinzipielle Unterschiede zwischen den drei Gruppen (*Mikroorganismen*, *Regenwürmer* und *Gehäuselandschnecken*) erkennen. Generell lässt sich die Eingangshypothese bestätigen, dass alle drei Gruppen eine Abhängigkeit von den abiotischen Bodenfaktoren *Bodenfeuchte* und *Bodenreaktion* zeigen. Bei Kenntnis dieser Faktoren lässt sich mithin das Vorkommen jeder der drei Gruppen prognostizieren (s. Ökogramme, Abb. 3.1).

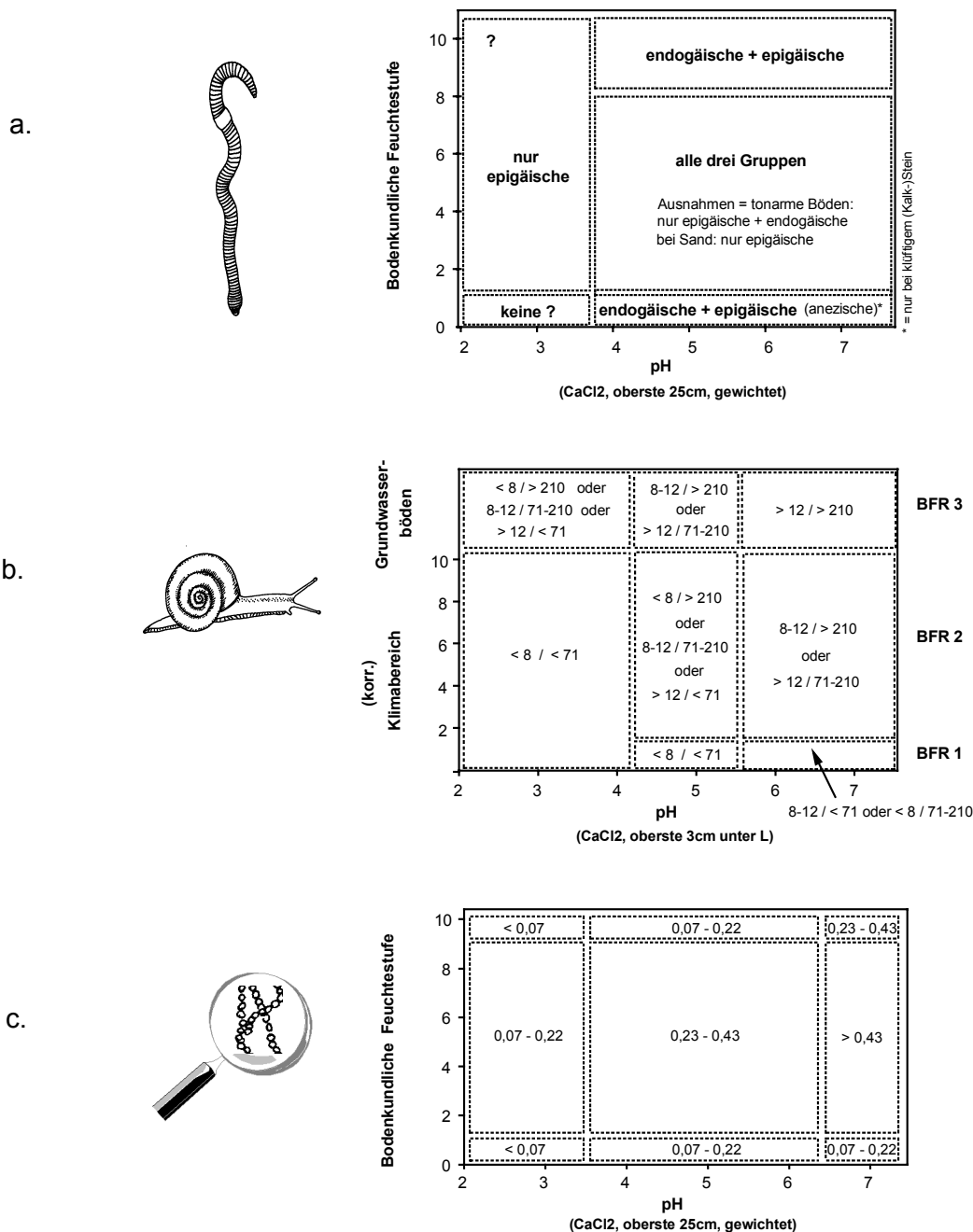


Abb.3.1: Ökogramme für alle drei Organismengruppen: Regenwürmer (oben), Gehäuselandschnecken (Mitte, Artenzahl / Individuenzahl pro 0,25 m<sup>2</sup>) und Mikroorganismen (unten, "Mikrobielles Potential")

Allerdings gibt es Unterschiede hinsichtlich der (i) Art und (ii) Güte und dieses Zusammenhanges sowie (iii) der (flächigen) Differenzierbarkeit von Böden mit Hilfe der einzelnen Organismengruppen:

---



Die Abhängigkeit der **Regenwürmer** von Bodeneigenschaften wird mit einem **Schwellenwertkonzept** beschrieben<sup>2</sup>. Das Vorkommen der verschiedenen ökologischen Gruppen läßt sich nicht mit stetigen Funktionen beschreiben. Vielmehr bestimmen Schwellenwerte von pH, BFS und Bodenart die Bereiche des Vorkommens von Regenwürmern. Innerhalb dieser Bereiche differenzieren die genannten Faktoren nicht mehr weiter.

- In extrem sauren Böden ( $\text{pH} < 3,8$ ) kommen entweder keine oder nur noch epigäische Regenwürmer vor, d.h. solche die in den Auflagehorizonten leben können.
- In feuchten ( $\text{BFS} \geq 8$ ) und (zeitweise) sauerstoffarmen Böden findet man epi- und endogäische Regenwürmer, oft in großen Populationen. Es fehlen jedoch die tiefgrabenden Regenwürmer (anezische). Diese Gruppe kommt auch bei extremer Trockenheit ( $\text{BFS} \leq 1$ ) nicht mehr vor. (Ausnahme: anezische Regenwürmer sind existenzfähig, wenn der Unterboden solch trockener Standorte Rückzugsmöglichkeiten bietet, z.B. einen klüftigen C-Horizont).
- Bei "mittleren" Bodenverhältnissen, d.h. oberhalb  $\text{pH} 3,8$  und zwischen  $\text{BFS} 1$  und  $\text{BFS} 8$ , kommen potenziell alle Gruppen vor. Auf Standorten mit ungünstiger Körnung (tonarme Böden) fallen anezische Regenwürmer aus, in sehr sandigen Böden und  $\text{BFS} < 8$  fehlen auch die endogäischen Regenwürmer.



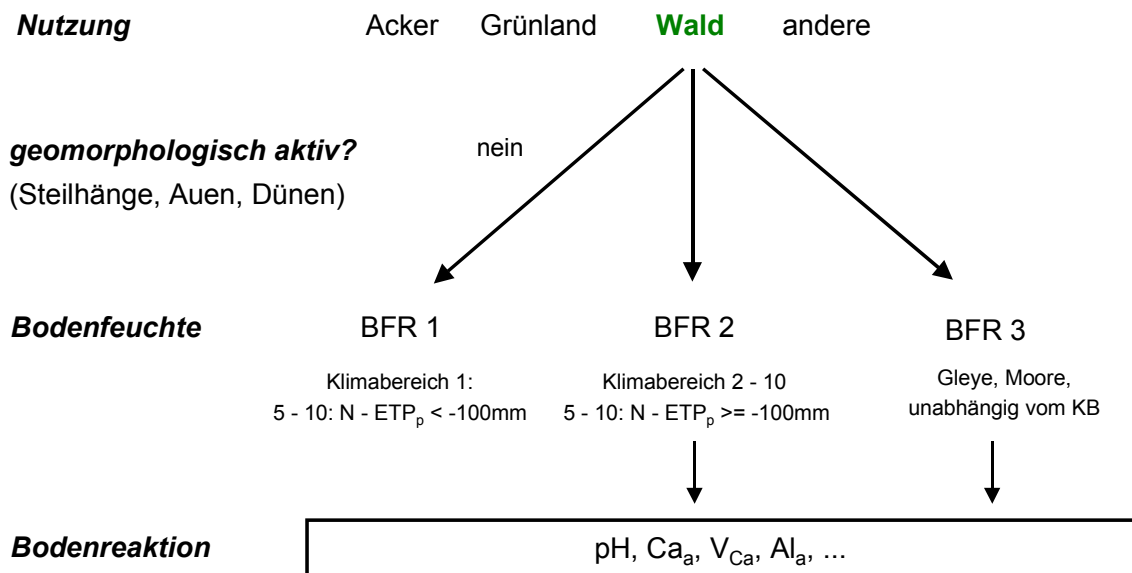
Die **Gehäuselandschnecken** zeigen eine prinzipiell *stetige* Abhängigkeit zwischen der Bodenreaktion und den Arten- bzw. Individuenzahlen. Die Güte dieses Zusammenhanges hängt jedoch von einer Vorabenteilung, d.h. einer Stratifizierung der Stichprobe ab. Die größten Abhängigkeiten zur Bodenreaktion zeigen sich dann, wenn die Gesamtzahl der untersuchten Waldstandorte nach anderen, wichtigeren Einflußfaktoren (z.B. Bodenfeuchte)

---

<sup>2</sup> Allerdings gehen in die vorliegende Studie nur Waldstandorte mit ein! Vermutlich hat die Nutzung einen ähnlich dominanten Einfluß wie bei den Schnecken (EHRMANN, 1996).



gruppiert werden. Schneckengemeinschaften lassen sich nur in einer **Faktorenhierarchie** quantitativ prognostizieren (s. Abb. 3.2).



**Abb. 3.2: Hierarchie für die Abhängigkeit der Schneckengemeinschaften von abiotischen Faktoren**

Den wichtigsten Faktor stellt dabei die Nutzung dar (MARTIN, 2000), d.h. unter Acker bzw. Grünland haben sich völlig andere Schneckengemeinschaften ausgebildet, mit entsprechend unterschiedlichen Abhängigkeiten von der Bodenreaktion. Unter Wald ist zunächst einmal zu klären, ob der betreffende Standort geomorphologisch aktiv ist. Wenn ja, spielen Feuchte oder pH keine Rolle – die mechanische Beanspruchung bzw. Verlagerung bestimmt die Arten- und Individuenzahlen. Finden keine großflächigen, rezenten Umlagerungsprozesse an der Oberfläche statt, so muß der Standort zunächst nach seiner Bodenfeuchte eingestuft werden: Bei extrem trockenen Standorten (BFR 1) hat die Bodenreaktion keinen weiteren Einfluß auf Arten- oder Individuenzahlen. Das begrenzte Wasserangebot dominiert diese Variablen, die über den gesamten pH-Bereich auf gleichbleibend niedrigem Niveau liegen. Bei mittleren Bodenfeuchteverhältnissen (BFR 2) liegen mittlere Variablenausprägungen vor, die Abhängigkeit der Schnecken von der Bodenreaktion ist hier besonders deutlich. Bei gleichbleibend hoher Bodenfeuchte, also in BFR 3, liegen die höchsten Arten- und Individuenzahlen vor, was die größere Bedeutung der Bodenfeuchte gegenüber der Bodenreaktion nochmals unterstreicht. Zumindest bei den Individuenzahlen deutet sich hier noch eine Abhängigkeit von der Bodenreaktion an (n zu gering).



Wie zu erwarten stellen die **Mikroorganismen** jene Gruppe dar, deren Biomasse und Aktivitätsparameter zwar **stetige**, aber nur mäßige Zusammenhänge zu abiotischen Bodeneigenschaften aufweist. Vermutlich liegt dies an der artspezifischen Anpassung an die verschiedensten Umwelten. Eine Differenzierung nach Artengemeinschaften konnte mit den gewählten Methoden nicht vorgenommen werden. Eine Kombination aus Kapazitäts- und Aktivitätsvariablen, aggregiert in dem "Mikrobiellen Potential", zeigt bei den Feuchtestufen BFS 1 bis BFS 9 die höchsten Werte. Nur in den Feuchtigkeitsextremen (BFS < 1 oder > 9) wurden niedrigere Werte festgestellt. In allen Feuchtestufen ist eine Zunahme des "Mikrobiellen Potentials" mit zunehmenden pH-Wert festzustellen.

Interessanterweise zeigen die C:N-Verhältnisse (oberste 25 cm) die besten Zusammenhänge zu mikrobiellen Parametern: Je höher das C:N-Verhältnis, desto geringer die mikrobiellen Biomassen. C:N-Verhältnisse ihrerseits lassen einen Zusammenhang zu den Humusformen erkennen. Da die **Humusform als integrierende Bodeneigenschaft** für Durchmischung (Regenwürmer) und mikrobiellen Abbau angesehen werden kann, läßt sie sich zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Böden einsetzen. Die Gruppierung in drei Klassen (1: Moder, Rohhumus, Hochmoortorf; 2: mullartiger Moder, F- - Mull; 3: andere) ähnelt jener wie sie von SOMMER vorgeschlagen wurde (s. HUFNAGEL & SOMMER, 1994) und wie sie als Schätzung für den mikrobiellen Abbau von organischen Schadstoffen bereits im Heft 31 zum Einsatz kommt (UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995).

## 4. Das Bewertungsverfahren

Nach dem Leitfaden zur Bewertung von Böden (Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995) orientiert sich die Leistungsfähigkeit eines Bodens als Lebensraum für Organismen an:

1. der Erhaltung der natürlichen Vielfalt (Artenspektrum)
2. dem flächenhaften Vorkommen der Lebensräume (nicht Organismen!)
3. der Ursprünglichkeit der Lebensräume (Hemerobiegrad)
4. der Regenerationsfähigkeit und Veränderung der standortsspezifischen Abbauleistungen

Das mit dieser Studie entwickelte Instrument legt hierfür die Grundlage. Es leistet in erster Linie eine Beurteilung gering hemerober Lebensräume und ist daher die Basis für jeden Vergleich mit anthropogen stärker veränderten Standorten (s. Pkt. 3., 4.).

Sicherlich kann mit dem entwickelten Bewertungsverfahren ein Beitrag zur Beurteilung der natürlichen Vielfalt in Böden geleistet werden (1.). Doch sind hier neben den untersuchten Gehäuselandschnecken, Mikroorganismen und Regenwürmern weitere Organismengruppen unbedingt einzubeziehen. Der Aspekt der *Seltenheit* von Lebensräumen (2.) fand auch in der vorliegenden Studie keine Berücksichtigung. Hierfür fehlt eine systematische Auswertung vorhandener Kartenwerke (BÜK 200) bzw. ist derzeit in Bearbeitung (WALDMANN, GLA Freiburg, 2000, mdl. Mitt.). Eine Beurteilung der Regenerationsfähigkeit (4.) erfordert eine Analyse der Dynamik und des Anfangs- bzw. Endzustandes sich regenerierender Flächen. Auch dies war im vorgegebenen zeitlichen und finanziellen Rahmen nicht möglich.

Das entwickelte Bewertungsverfahren orientiert sich an folgenden Grundsätzen bzw. Randbedingungen :

- Böden bieten aufgrund ihrer Anisotropie (vertikal und lateral) Organismen eine Vielzahl von Lebensräumen. Diese sollte ein Beurteilungsverfahren abdecken. Zudem galt es, die (landesspezifische) Vielfalt der Böden zu berücksichtigen.
- Bei der Auswahl relevanter Bodeneigenschaften sollte einerseits so weit wie möglich auf Kenngrößen zurückgegriffen werden, die bereits im Heft 31 Verwendung finden (UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995). Damit ist die Kompatibilität zu diesem Bewertungsinstrument gewährleistet, der zusätzliche Aufwand für die Bewertung der Böden als Lebensraum minimiert und die Akzeptanz und Anwendung in der Planungs- und Verwaltungspraxis gesteigert. Andererseits sollten diese Eigenschaften auch Relevanz für das Vorkommen der Organismen haben. Für die gewählten Organismengruppen sind es die Bodenreaktion (pH), die Bodenfeuchte (BFS, BFR) und der Humushaushalt (Humusform).
- Aus finanziellen und zeitlichen Restriktionen konnten nur die Standorte mit der geringsten anthropogenen Beeinflussung (geringer Hemerobiegrad) berücksichtigt werden, d.h. Wälder (in der Regel Altholzbestände). Böden unter anderen Nutzungsformen als Wald lassen sich mit dem entwickelten Instrument nur hinsichtlich ihres Potentials als Lebensraum bewerten, nicht jedoch hinsichtlich ihres aktuellen Zustandes.

Im Folgenden werden zunächst die Bewertungsverfahren für die einzelnen Organismengruppen (4.1 - 4.3) vorgestellt. Ein über die drei Organismengruppen integriertes Bewertungsverfahren wird in Kapitel 4.4 vorgeschlagen.

## 4.1 Böden als Lebensraum für Regenwürmer

(O. Ehrmann & T. Vollmer)

Als **Bewertungskriterium** wird bei über dem Boden lebenden Tieren häufig die **Seltenheit** verwendet. Besonders hoch bewertet werden bei einem solchen Konzept Standorte mit seltenen Arten. Voraussetzung für dessen Anwendung ist eine detaillierte Kenntnis sowohl der flächenhaften Verbreitung einzelner Arten, als auch deren Seltenheit innerhalb eines Bezugsgebietes, z.B. Baden-Württemberg. Derzeit ist dieses Konzept bei Regenwürmern nicht anwendbar, da die geringe Anzahl der bisher untersuchten Standorte (sowohl in Baden-Württemberg<sup>3</sup> als auch in ganz Mitteleuropa) es nicht erlaubt, Aussagen über die flächenhafte Verbreitung bzw. Seltenheit einzelner Arten zu treffen. Das auf „**Reichhaltigkeit**“ der Regenwurmfauna basierende Bewertungskonzept des IFAB (1998) erfordert die Prognostizierbarkeit der Parameter „Artenzahl pro Standort“ und Abundanz aller Einzelarten“ anhand (abiotischer) Standortfaktoren. Detailkenntnisse der ökologischen Ansprüche *einzelner Arten* sind außerdem Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens. Diese Voraussetzungen sind derzeit nicht gegeben.

Da o.g. Bewertungskonzepte derzeit nicht wissenschaftlich ableitbar sind, wird hier ein Klassifikationsschema vorgeschlagen (Tab. 4.1.1), das sich an folgenden beiden Parametern orientiert:

- dem **Vorkommen der 3 ökologischen Gruppen** der Regenwürmer. Dieser Parameter weist eine geringere räumliche und zeitliche Variabilität auf als die Arten- und Individuenzahl. Daher läßt er sich schon bei der derzeitigen Datenlage eindeutig und relativ sicher aus den Ökogrammen ableiten (siehe Abb. 3.1.a.)
- einem **Zuschlag für große Populationen** (> 50 g Biomasse m<sup>-2</sup>). Der Parameter "große Regenwurmpopulationen" läßt sich aus der Humusform ableiten. Große Regenwurmpopulationen bewirken einen besonders schnellen Streuabbau. Dies zeigt sich in einer besonders günstigen Humusform (die Humusform unterliegt außerdem einer geringeren zeitlichen Variabilität als die Individuenzahl oder Biomasse).

Das Konzept orientiert sich indirekt auch an den Parametern Abundanzen, Biomassen und Artenzahlen: Standorte, an denen alle drei ökologischen Gruppen vorkommen, weisen in der Regel auch hohe Werte bei diesen Parametern auf. Das Konzept integriert außerdem die Funktion der Regenwürmer im Boden. Nur an Standorten, an denen alle 3 ökologische Gruppen vertreten sind, werden die wesentlichen Funktionen der Regenwürmer auch erfüllt. Ähnlich wie bei den Mikroorganismen wird auch bei den Regenwürmern nach einer Kombination aus Funktionserfüllung und Populationsgröße klassifiziert.

---

<sup>3</sup> In Baden-Württemberg wurde bisher an ca. 300 Standorten die Regenwurmfauna untersucht. Davon wurden aber ca. 2/3 der Untersuchungen mit Methoden durchgeführt, die nur einen Teil der Regenwurmpopulation erfassen. Die meisten Standorte wurden außerdem nur einmal untersucht. In den anderen Bundesländern ist der Kenntnisstand der Regenwurmfauna geringer.

Tab. 4.1.1: Klassifikationschema für Regenwurmpopulationen

| Anzahl ökologischer Gruppen / Größe Population       | Klasse | Beurteilung |
|--|--------|-------------|
| 0  | 1      | sehr gering |
| 1  | 2      | gering      |
| 2  | 3      | mittel      |
| 3 oder<br>2 und zusätzlich große Regenwurmpopulation | 4      | hoch        |
| 3 und zusätzlich große Regenwurmpopulation           | 5      | sehr hoch   |

Der Fall "1 und große Regenwurmpopulation" kam nicht vor (er ist auch aus der Literatur nicht bekannt) und wird daher vernachlässigt; Klassen nach Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995)

Kommt nur eine ökologische Gruppe vor (Klasse 2), so handelt es sich in der Regel um epigäische Regenwürmer. Bei Klasse 3 kommen i.d.R. endogäische Arten hinzu. Anezische Regenwürmer treten meist erst in den Klassen 4 und 5 auf. Aus dem Vorkommen der drei ökologischen Gruppen (Abb. 3.1.a.) und dem Klassifikationsschema (Tab. 4.1.1) wird das nachfolgend vorgestellte Bewertungsschema (Abb. 4.1.1) abgeleitet.

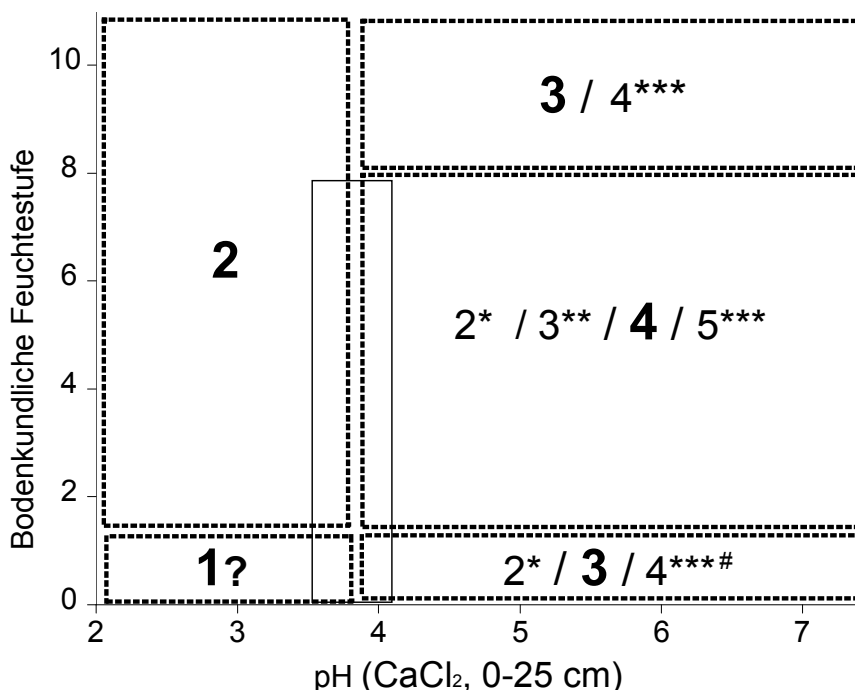


Abb. 4.1.1: Bewertungsschema für Böden als Lebensraum (Regenwürmer).

\* = bei Bodenart Sand mit < 5% Ton, \*\* = bei Bodenart Sand oder Schluff mit >5 - <12 % Ton, \*\*\* = bei sehr günstigen Humusformen (L-Mull, Feuchtmull, Anmoor, vererdetes Niedermoor), # = bei klüftigem Kalkstein (nur bei BFS 0 - 1,5; siehe auch Fußnote 1)

Primäre Eingangsgrößen für die Bewertung sind die Bodenkundliche Feuchtestufe (BFS) und der pH-Wert. Mit ihnen wird der fett gedruckte Normalwert ermittelt. Kleinere Zahlen weisen auf Modifikationen hin: **Abschläge** ergeben sich in einigen Feldern durch eine ungünstigere Bodenart, **Zuschläge** können bei klüftigem Kalkgestein<sup>4</sup> oder beim Vorkommen einer besonders günstigen Humusform erfolgen. Die Humusform wird außerdem zur Präzisierung der Bewertung<sup>5</sup> im Bereich pH  $3,8 \pm 0,3$  (für BFS 0-8, in Abb. 3.1.22 durch ein Rechteck gekennzeichnet) nach den folgenden Kriterien verwendet:

- pH  $\geq 3,8 - 4,1$  und Vorkommen eines Oh-Horizontes (Humusformen mullartiger Moder-Rohhumus): → Zurückstufung nach 2 bzw. 1.
- pH  $< 3,8 - 3,5$  und Fehlen eines Oh-Horizontes (Mull-Humusformen): → Hochstufung nach 3.

## 4.2 Böden als Lebensraum für Gehäuselandschnecken

(K. Martin & M. Sommer)

Für die Bewertung von Böden in deren Funktion als Lebensraum sollten sowohl die Arten- als auch die Individuenzahlen von Gehäuselandschnecken mit einbezogen werden. Entsprechend der vorgefundenen Bandbreite wurden diese Variablen jeweils in drei Gruppen unterteilt. Damit läßt sich jede Schneckengemeinschaft, zunächst unabhängig von den Standortfaktoren, anhand von Arten- und Individuenzahlen charakterisieren, die in ihrer Kombination bewertet werden können. Den verschiedenen Arten- und Individuenzahlen-Kombinationen wurden Werte zwischen 1 und 5 zugeordnet, welche die „**zöologische Qualität**“ der Gemeinschaft ausdrücken (von 1 = sehr gering bis 5 = sehr hoch), wie in Tab. 4.2.1 definiert<sup>6</sup>.

Tab. 4.2.1: Klassifikationschema für Gehäuselandschnecken

| Individuenzahlen | Artenzahlen |        |        |
|------------------|-------------|--------|--------|
|                  | $\leq 7$    | 8 – 12 | $> 12$ |
| $\leq 70$        | 1           | 2      | 3      |
| 71-210           | 2           | 3      | 4      |
| $> 210$          | 3           | 4      | 5      |

Berurteilung der Gemeinschaft: 1 = sehr gering .... 5 = sehr hoch

<sup>4</sup> Bei klüftigem Kalkgestein ist die Ermittlung der Bodenkundlichen Feuchtestufe nach Schema problematisch, da Regenwürmer die Klüfte nutzen um sich in den feuchten Unterboden zurückzuziehen. Eine Ermittlung der BFS bei diesen Standorten nach anderen Kriterien würde aber erheblichen Aufwand bedeuten und das System verkomplizieren. Der Einfachheit wegen wird daher für diese Standorte die BFS wie üblich ermittelt. Diese Standorte werden aber im Bewertungsschema eine Stufe höher eingestuft.

<sup>5</sup> Im Bereich pH  $3,8 \pm 0,3$  ändert sich die Regenwurmfauna grundlegend. Wegen Unschärfen bei der Messung des pH-Wertes (räumliche und zeitliche Variabilität) und der Reaktion der Regenwürmer auf den pH-Wert ist eine Präzisierung über die Humusform notwendig.

<sup>6</sup> Da Arten- und Individuenzahlen in ihrer Bedeutung nicht unterschiedlich gewichtet wurden, können z. T. verschiedene Kombinationen derselben den gleichen Qualitätswert ergeben (Beispiel:  $< 7$  Arten und  $> 210$  Individuen wird als gleichwertig mit  $> 12$  Arten und  $< 70$  Individuen angesehen, nämlich jeweils mit Wert 3).

Obwohl die Untersuchung der Gehäuselandschnecken innerhalb eines Bodenfeuchteregimes eine stetige Abhängigkeit der Variablen (Arten-, Individuenzahlen) zur Bodenreaktion gezeigt hat, wurden für das Bewertungsverfahren pH-Klassen gebildet. Dabei erfolgte die Grenzziehung nach bodenchemischen Pufferbereichen in drei Klassen:

- pH < 4,2: Al-Pufferbereich
- pH 4,2 -5,5: Austausch-Pufferbereich
- pH > 5,5: Silikat- und Carbonat-Pufferbereich

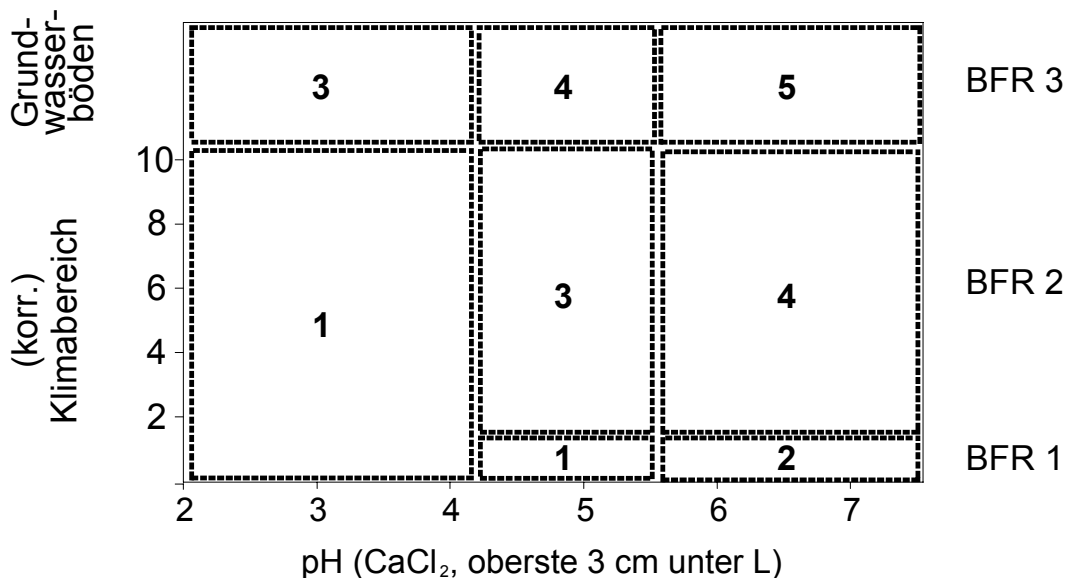
Zu beachten ist dabei, dass trotz unterschiedlicher Klassenwerte nahe den Grenzen die Variablenausprägung sehr ähnlich sein kann: weder Arten- noch Individuenzahlen unterscheiden sich signifikant zwischen pH 4,1 und 4,3.

Bei der Zuordnung des Klassifikationsschemas (Tab. 4.2.1) zu dem Ökogramm (Abb. 3.1.b.) ergibt sich das in Tab. 4.2.2 und Abb.4.2.1 dargestellte Ergebnis.

**Tab. 4.2.2: Bewertungsschema für Böden als Lebensraum (Schneckengemeinschaften)**

| Bodenfeuchteregime | Bodenreaktion |           |       |
|--------------------|---------------|-----------|-------|
|                    | pH < 4,2      | 4,2 – 5,5 | > 5,5 |
| BFR 1              | 1             | 1         | 2     |
| BFR 2              | 1             | 3         | 4     |
| BFR 3              | 3             | 4         | 5     |

Leistungsfähigkeit: 1 = sehr gering .... 5 = sehr hoch (s. Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995)



**Abb. 4.2.1: Bewertungsschema für Böden als Lebensraum (Gehäuselandschnecken).**

1-5 = sehr geringe bis sehr hohe Leistungsfähigkeit (s. Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995)

## 4.3 Böden als Lebensraum für Mikroorganismen

(J.K. Friedel)

Als Grundlage des Bewertungsverfahrens für Böden als Lebensraum für Mikroorganismen wurde das *Mikrobielle Potential* gewählt. Diese Variable setzt sich aus dem mikrobiell gebundenen Kohlenstoff ( $C_{mic}$ ), aus dem Verhältnis von mikrobiellen C zu organischem C ( $C_{mic}/C_{org}$ ), der Basalatmungsrate ( $C_{resp}$ ) und der Streuabbaurate (*in situ* Transformationsvermögen) zusammen.

Da das *Mikrobielle Potential* am höchsten mit pH-Wert und C/N-Verhältnis korreliert war, wurde zunächst eine 4-stufige Klassifikation der Standorte nach pH-Wert und C/N-Verhältnis analog zu den Klassen des *Mikrobiellen Potentials* vorgenommen. Die Werte (des pH-Wertes bzw. C/N-Verhältnis) für die Klassengrenzen wurden empirisch so festgelegt, daß sich eine bestmögliche Übereinstimmung mit den Klassen des *Mikrobiellen Potentials* ergab. Es zeigte sich, daß die Übereinstimmung der Klassifikation nach dem *Mikrobiellen Potential* mit der nach dem pH-Wert besser war als mit der nach dem C/N-Verhältnis. Daher wurde der pH-Wert als wichtigster abiotischer Faktor primär berücksichtigt.

Eine weitere Verbesserung der Übereinstimmung (+ 7% bei den Untersuchungsflächen und + 5% bei den Standorten) konnte erzielt werden, indem zusätzlich zur Einstufung nach dem pH-Wert Korrekturfaktoren aufgrund der Bodenkundlichen Feuchtestufe berücksichtigt wurden (Einstufung in geringere Klassen bei sehr geringer oder sehr hoher BFS). Die Feuchtestufen, für die eine Korrektur durchgeführt wurde, wurden nach dem Kriterium der bestmöglichen Übereinstimmung des Ergebnisses mit der Klassifikation nach dem *Mikrobiellen Potential* empirisch festgelegt. Eine Berücksichtigung weiterer möglicher Einflußfaktoren (C/N-Verhältnis,  $N_T$ -Gehalt, Feinbodenmenge, Schwermetallgehalte) erbrachte keine oder nur eine minimale (+2%) weitere Verbesserung.

Eine Klassifikation auf Grundlage einer Kombination von pH-Wert und Bodenkundlicher Feuchtestufe (Tab. 5.3.1) konnte 71% der Aufnahmeflächen ( $n = 158$ ) bzw. 80% der Standorte ( $n = 40$ ) richtig beschreiben. Die maximale Abweichung von der Klassifikation nach dem *Mikrobiellen Potential* betrug einen Klassenwert (5 von 40 Standorten: +1, 3 Standorte: -1). Für die Faktorstufenkombinationen Feuchtestufe < 1, pH-Wert < 3.5 und Feuchtestufe < 1, pH-Wert 3.5 – 6.4 waren keine Untersuchungsflächen vorhanden. Die Korrekturfaktoren für die Feuchtestufe sind hier hypothetisch.

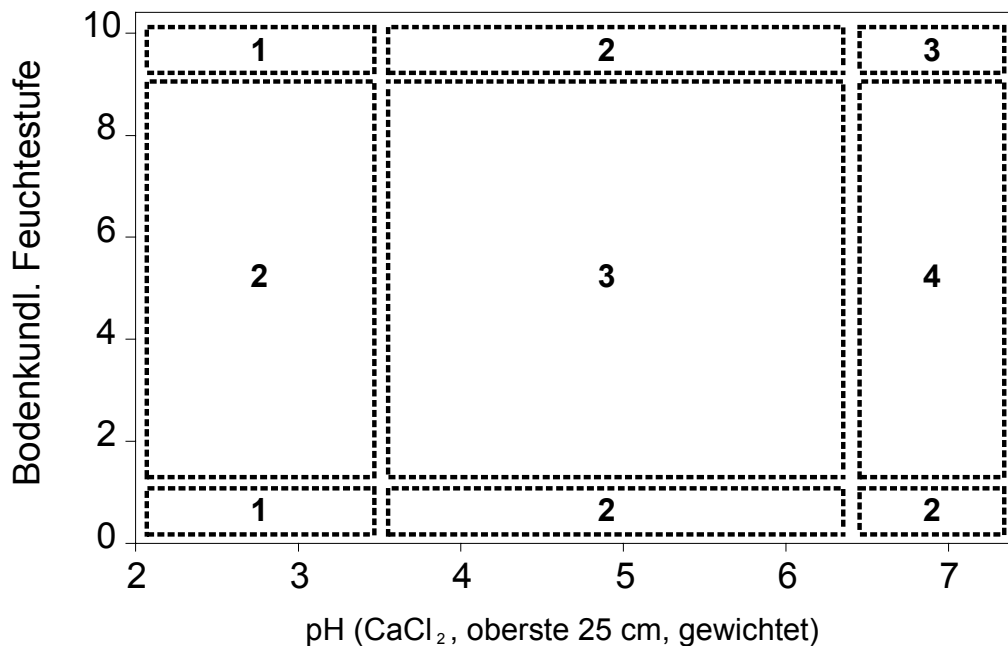
**Tab. 4.3.1: Bewertungsschema für Böden als Lebensraum (Mikroorganismen)**

| Bodenkundliche<br>Feuchtestufe | pH-Wert <sub>CaCl2</sub> |           |       |
|--------------------------------|--------------------------|-----------|-------|
|                                | < 3,5                    | 3,5 – 6,4 | > 6,4 |
| < 1                            | 1                        | 2         | 2     |
| 1 - 9                          | 2                        | 3         | 4     |
| > 9                            | 1                        | 2         | 3     |

1 = sehr geringe .... 4 = hohe Leistungsfähigkeit (s. Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995)



Umgesetzt in das Ökogramm aus Bodenreaktion und –feuchte ergibt sich folgendes Bild:



**Abb. 4.3.1: Bewertungsschema für Böden als Lebensraum (Mikroorganismen).**

1-4 = sehr geringe bis hohe Leistungsfähigkeit (s. Heft 31, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995)

Die vorgenommene Beurteilung der Bodenfunktion „Lebensraum für Mikroorganismen“ kann aus den folgenden Gründen nur vorläufigen Charakter haben.

1. Das Beurteilungsverfahren wurde nicht an einen unabhängigen Datensatz validiert. Bei einer solchen Validierung sollten für die im vorliegenden Datensatz nicht enthaltenen Faktorstufenkombinationen (Feuchtestufe < 1, pH-Wert < 3.5 und Feuchtestufe < 1, pH-Wert 3.5 – 6.4) Untersuchungsflächen mit einbezogen werden, um die hier hypothetischen Korrekturfaktoren für die Feuchtestufe zu überprüfen.
2. Die strukturelle Diversität (z.B. Bakterien – Pilz – Verhältnis, Artengruppen) und funktionelle Diversität (z.B. Organismen mit spezifischen Substratnutzungseigenschaften oder enzymatischer Ausstattung) der Bodenmikroorganismen-Gemeinschaft wurde nicht berücksichtigt. Im Zuge der methodischen Weiterentwicklung insbesondere molekularbiologischer Verfahren sollte dies erfolgen.
3. Nur Aktivitätsparameter des Kohlenstoffkreislaufs (Basalatmung, *in situ* Celluloseabbau) wurden bei der Klassifikation berücksichtigt. Aktivitäten des Stickstoffkreislaufs (z.B. N-Mineralisierung im Brutversuch; Kandler et al. 1993) und evtl. weiterer Stoffkreisläufe sollten bei einer umfassenden Beurteilung mit berücksichtigt werden. Dies würde auch die Gefahr von Fehleinschätzungen aufgrund von Artefakten durch die Probenvorbereitung verringern.

## 4.4 Integration der Organismengruppen in ein Bewertungsverfahren

Bei einer integrierten Bewertung aller drei Organismengruppen werden nur **Kapazitätsgrößen** berücksichtigt und zwar die **Biomassen**. Bei Regenwürmer und Mikroorganismen wurden diese direkt bestimmt, bei den Gehäuselandschnecken die Individuendichten als Indikator für Biomassen verwendet. Dieser Zusammenhang müsste in weiteren Forschungsvorhaben noch bestätigt bzw. quantifiziert werden. Für eine umfassende Bewertung eines Bodens wären sicherlich auch die **Aktivitätsgrößen**, wie z.B. die Abbauleistung der Mikroorganismen und die Materialdurchmischung durch Regenwürmer von Interesse. Aus der vorliegenden Studie lagen diese Parameter jedoch nur für die Mikroorganismen vor, sodass aus Gründen der Gleichgewichtung aller drei Organismengruppen auf die Einbeziehung von Aktivitätsgrößen verzichtet wurde.

Um alle Organismengruppen gemeinsam darzustellen, wurden „sun ray plots“ erstellt (Abb.4.4.1, „star plots“, „Radar-Diagramme“ vgl. DILLY & BLUME, 1998). Die obere Spitze der Dreiecke stellen die Mikroorganismen dar. Links unten sind die Werte der Gehäuselandschnecken abgetragen und rechts unten jene der Regenwürmer. Die Dreiecke sind in einem Koordinatensystem aus pH-Wert und Bodenfeuchtestufe dargestellt. Farblich hinterlegt ist schließlich noch die Humusform.

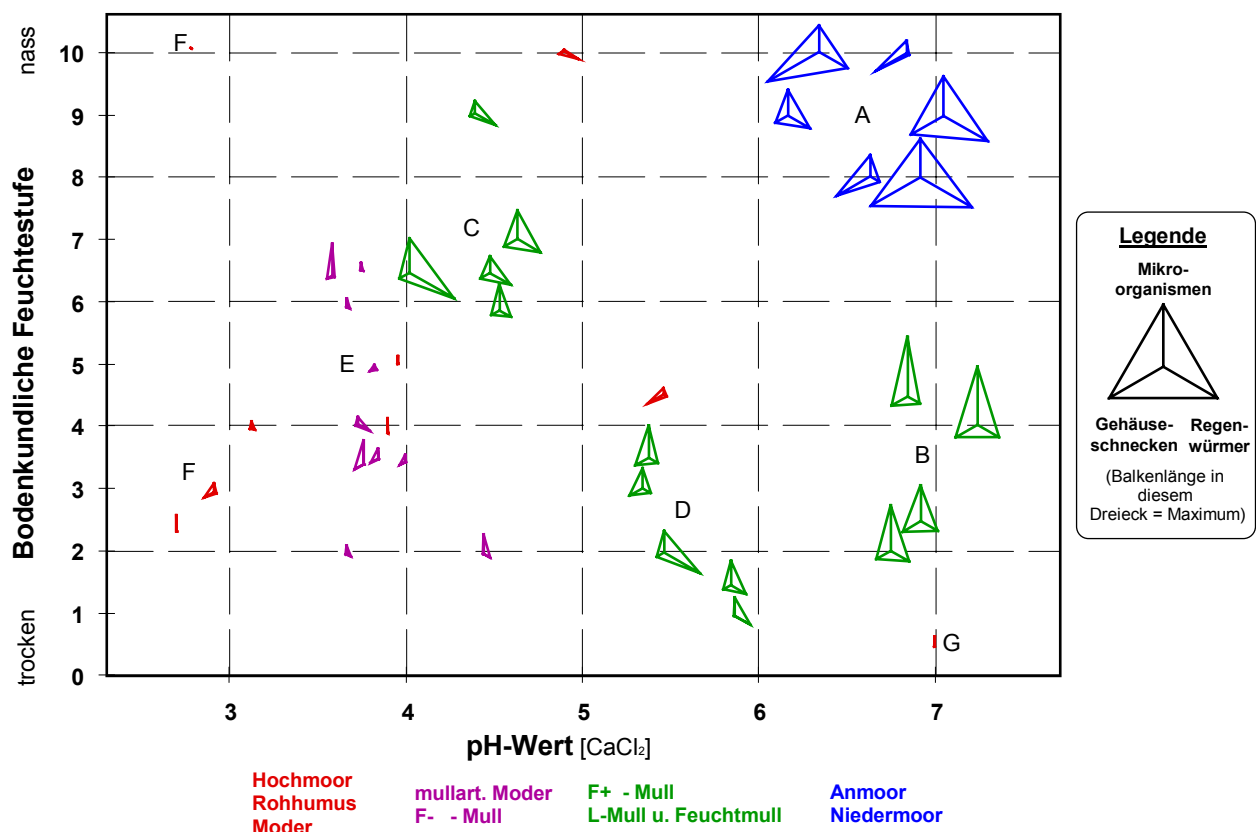


Abb. 4.4.1: Ökogramm für *Böden als Lebensraum* (alle 3 Organismengruppen).

Da ein direkter Vergleich absoluter Biomassen aller drei Organismengruppen wenig Sinn macht, wurden die einzelnen Werte nach folgender Formel normiert:

$$\text{Normierter Standortswert einer Variablen} = \frac{\text{Standortswert}}{\text{Maximalwert der Stichprobe}}$$

Die Länge der einzelnen "Strahlen" entspricht somit der Relation zum Maximalwert, je länger die Strahlen, umso näher liegt der konkrete Wert am Maximum der gesamten Stichprobe. Die Fläche des durch die drei Organismengruppen gebildeten Dreieckes erlaubt eine integrative Betrachtung des Standortes: je größer die Fläche, umso höhere, relative Variablenwerte hat der entsprechende Standort. Fehlt eine Gruppe völlig, so existiert keine Fläche mehr, die Länge der Linien läßt in solchen Fällen noch Vergleiche zu.

Das **Ökogramm** (Abb. 4.4.1) zeigt, das die Reaktionen der drei Organismengruppen auf die Faktoren Feuchte und Bodenreaktion deutlich und regelhaft sind:

- an äußerst sauren<sup>7</sup> [F] sowie an trockenen Standorten [G] sind alle drei Gruppen nur mit kleinen Populationen vertreten;
- an sehr stark sauren Standorten [E] kommen wenig Regenwürmer und Gehäuselandschnecken vor, der Anteil der Mikroorganismen ist relativ etwas höher;
- höhere Populationen weisen stark saure und feuchte Standorten [C] sowie mittel saure und frische Standorte auf [D]. Ein niedriger pH-Wert kann anscheinend in gewissem Umfang durch eine höhere Bodenfeuchte kompensiert werden, eine zu hohe Feuchte führt jedoch wiederum zu niedrigeren Werten (BFS > 8);
- bei neutralen pH-Werten weisen frische Standorte [B] besonders hohe mikrobielle Biomassen auf, auf nassen Standorten [A] kommen eher große Populationen an Regenwürmern und Gehäuselandschnecken vor. Bei BFS 10 können jedoch Regenwürmer sehr niedrige Werte annehmen.
- Alle drei Organismengruppen weisen kleine Populationen bei niedrigen pH-Werten auf. Regenwürmer und vor allem Mikroorganismen reagieren aber weniger empfindlich als Gehäuselandschnecken. Eine sehr niedrige Bodenfeuchte ist für alle drei Gruppen von Nachteil, Regenwürmer und vor allem Mikroorganismen können aber schon bei etwas feuchteren Böden größere Populationen aufbauen. Schnecken haben ein Optimum an nassen Standorten mit neutralen pH-Werten.

Die Fläche bzw. Linienlänge der Dreiecke kann nun in direkte Beziehung zur Leistungsfähigkeit gesetzt werden.

**Die größte Leistungsfähigkeit als Lebensraum (s. Abb.4.4.2) haben danach Böden mit pH-Werten (oberste 25 cm, CaCl<sub>2</sub>) > 6 und einer Bodenkundlichen Feuchtestufe zwischen 7 und 9. Eine hohe Leistungsfähigkeit besitzen sehr nasse (BFS > 9) und trockeneren Böden im gleichen pH-Bereich, bei Ausschluß der Standorte extremer Trockenheit (BFS 1). Eine mittlere Leistungsfähigkeit weisen Böden mit pH-Werten zwischen 4 und 6 bei Bodenkundlichen Feuchtestufen ≥ 5 auf sowie Böden mit pH-Werten zwischen 5 (4) und 6 sowie einer BFS zwischen >1 und <5 zu erwarten. Liegt der pH-Wert bei einer BFS > 5 unter 4 so ist von einer geringen Leistungsfähigkeit auszugehen. Für trockenere Bedingungen erstreckt sich dieser Bereich noch bis pH 5.**

<sup>7</sup> Nomenklatur der Bodenreaktion nach AK Standortkartierung (1996; entspricht KA4)

Alle Böden mit pH-Werten  $< 3$  oder mit der Bodenkundlichen Feuchtestufe von  $\leq 1$ , zeigen eine *sehr geringe* Leistungsfähigkeit.

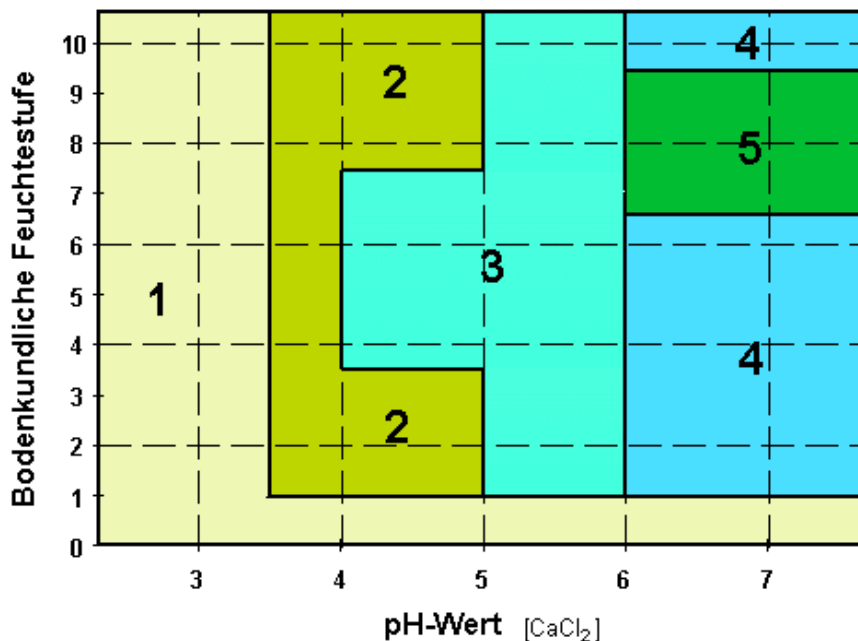


Abb. 4.4.2: Vorläufiges<sup>8</sup> Bewertungsschema für *Böden als Lebensraum* (alle 3 Organismengruppen);

Legende: 1 = sehr geringe, 2 = geringe, 3 = mittlere, 4 = hohe, 5 = sehr hohe Leistungsfähigkeit

## 5. Ausblick

Zur Bewertung von Böden nach ihrer Eignung als Lebensraum für Bodenorganismen wurden in 40 repräsentativen Böden Baden-Württembergs (unter Wald, siehe Kap. 2) die Gehäuselandschnecken-, Regenwurm- und Mikroorganismen-Populationen untersucht.

Alle drei Organismengruppen ließen einen Zusammenhang zu Bodeneigenschaften erkennen, vor allem zu den abiotischen Größen Bodenreaktion (pH) und Bodenfeuchte (siehe Kap. 3).

Deutliche Unterschiede traten dabei im Verhalten der drei Organismengruppen auf:

- Bei den Gehäuselandschnecken ist die Bodenfeuchte ausschlaggebender für deren Auftreten als der pH-Wert, wobei jedoch innerhalb eines Bodenfeuchteregimes eine

<sup>8</sup> Die Anzahl der untersuchten Standorte ist für eine exakte Abgrenzung der Werteklassen zum Teil nicht ausreichend!

Zunahme der Arten- und Individuenzahl mit steigendem pH-Wert zu verzeichnen ist.

- Bei den Regenwürmern und Mikroorganismen wirken Bodenreaktion und Bodenfeuchte gleichwertig. Bestimmte Regenwurmgruppen kommen unterhalb bestimmter pH-Werte jedoch nicht mehr vor.

Für jede Gruppe wurde ein Bewertungsverfahren entwickelt (Kap. 4.1-4.3), in dem das Auftreten bzw. die Häufigkeit der einzelnen Organismen den beiden Faktoren Bodenfeuchte und Bodenreaktion in sog. Ökogrammen gegenübergestellt wird. Bei den Gehäuselandschnecken (Kap.4.2) werden die Arten- und Individuenzahl, bei den Regenwürmern (Kap. 4.1) das Vorkommen der ökologischen Gruppen (epigäisch, endogäisch, anezisch) sowie die Populationsgröße und bei den Mikroorganismen (Kap.4.3) ein „Mikrobielles Potenzial“ (= Mittelwert aus normierten mikrobiellen Biomassen, aus  $C_{mic}/C_{org}$ , aus Abbauraten und Basalatmung) herangezogen. Bei Kenntnis der Bodenfeuchte und der Bodenreaktion lässt sich das Vorkommen dieser Organismen quantitativ prognostizieren.

Schließlich wird ein integriertes Bewertungsverfahren (Kap.4.4) vorgeschlagen, in dem das Vorkommen der drei Organismengruppen berücksichtigt wird.

Mit diesem Verfahren steht dem Bodenschutz ein erstes Instrument zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Böden in ihrer Funktion als Lebensraum für Organismen zur Verfügung. Für eine umfassende Bewertung von Böden als Lebensraum für Organismen sind zukünftig sowohl die *Seltenheit* dieser Lebensräume und damit die der *Böden* in Baden-Württemberg zu quantifizieren als auch *weitere Organismengruppen* zu berücksichtigen.

## 6. Literatur

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., 392 S., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover.

ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. (1980): Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.* 130, 211-216.

ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. (1989): Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21, 471-480.

ANDERSON, T. H. & JOERGENSEN, R. G. (1997): Relationship between SIR and FE estimates of microbial biomass C in deciduous forest soils at different pH. *Soil Biol. Biochem.* 29, 1033-1042.

ANT, H. (1963): Faunistische, ökologische und tiergeographische Untersuchungen zur Verbreitung der Landschnecken in Nordwestdeutschland. - Abh. Landesmus. Naturkde. Münster/Westf. 25: 1-125.

ANT, H. (1966): Die Bedeutung der Eiszeiten für die rezente Verbreitung der europäischen Landgastropoden. *Malacologia* 5: 61-62.

ANT, H. (1969a): Die malakologische Gliederung einiger Buchenwaldtypen in Nordwest-Deutschland. *Vegetatio* 18: 374-386.

ANT, H. (1969b): Zur Würm-glazialen Überdauerung europäischer Landgastropoden in Eisrandnähe. *Malacologia* 9: 249-250.

- BALTZER, R. (1956): Die Regenwürmer Westfalens - eine tiergeographische, ökophysiologische und sinnesphysiologische Studie. Zool. Jahrb. Syst., 84, 355-414.
- BAUHUS, J. & KHANNA, P. K. (1999): The significance of microbial biomass in forest soils. Going underground - Ecological studies in forest soils 77-110.
- BBODSCHG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG)
- BODSCHG (1991): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz - BodSchG) vom 24. Juni 1991
- BERNIER, N. & PONGE, J. F. (1994): Humus Form Dynamics during the Sylvogenetic Cycle in a Mountain Spruce Forest. Soil Biol. Biochem., 26, 183-220.
- BERRY, F.G. (1973): Patterns of snail distribution at Ham Street Woods National Nature Reserve, East Kent. J. Conch. 28: 23-35.
- BIERI, M., BIACHI, G. & DELUCCHI, V. (1983): The Occurrence of Earthworms in different Forest Soils in Switzerland. In: Lebrun, Ph., André, H. M., de Medts, A., Gregoire-Wibo, C. & Wauthy, G. (eds.): New Trends in Soil Biology. Proc. 8th Int. Colloquium Soil Zool., Louvain-la-Neuve, 648-650.
- BMELF (Bundesministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Hrsg.): Deutscher Waldbodenbericht 1996. Band 1 u. 2.
- BÖSENER, R. (1964): Die Lumbriciden des Tharandter Waldes. Zool. Abh. Mus. Tierk. Dresden, 27 (9), 193-263.
- BOUCHÉ, M. B. & GARDNER, R. H. (1984): Earthworm Functions. IV. Population Estimation Techniques. Rev. Écol. Biol. Sol 21 (1), 37-63.
- BOUCHÉ, M. B. (1977): Strategies lombriciennes. In: Lohm, U. & Persson, T. (eds.): Soil Organisms as Components of Ecosystems. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool., Ecol. Bull. (Stockholm) 25, 122-132.
- BOUCHÉ, M. B. (1972): Lombriciens de France - Écologie et Systématique. 672 S., Institut Nationale de la Recherche Agronomique, Paris.
- BRIONES, M.J.I., MASCATO, R. & MATO, S. (1995): Autecological study of some earthworm species (Oligochaeta) by means of ecological profiles. Pedobiologia 39, 97-106.
- BRUNNACKER, M. & K. BRUNNACKER (1959): Gehäuseschneckenfauna und Boden. - Zool. Anz. 163: 123-134.
- BÜRK, R. & J.H. JUNGBLUTH (1982): Prodromus zu einem Atlas der Mollusken von Baden-Württemberg. - Fundortkataster der Bundesrepublik Deutschland 14 (Saarbrücken und Heidelberg).
- CEJKA, T. (1997): Adaptive successional changes in malacocoenoses as a reaction to changed hydrological conditions in the diversion area of the Gabčíkovo power plant (Slovakia, the Danube river). Biologia (Bratislava) 52: 615-623.
- CHATFIELD, J.E. (1975): A summary of studies on food and feeding in some European land snails. Malacol. Rev. 8: 123-125.
- CORSMANN, M. (1984): Untersuchungen zur Bedeutung von Waldschnecken bei der Streuzersetzung. Mitt. dtsh. malak. Ges. 37: 174-181.
- CORSMANN, M. (1990): Die Schneckengemeinschaft (Gastropoda) eines Laubwaldes: Populationsdynamik, Verteilungsmuster und Nahrungsbiologie. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A, 58: 1-208.
- CUENDET, G. (1984): A comparative study of the earthworm population of four different woodland types in Wytham woods, Oxford. Pedobiologia 26, 421-439.

- CUENDET, G. (1985): Répartition des Lombriciens (Oligochaeta) dans la Basse Engadine, le Parc National et le Val Müstair (Grisons, Suisse). *Rev. Suisse Zool.*, 92 (1), 145-163.
- DAVID, J. F., PONGE, J. F., & DELCOUR, F. (1993): The Saprophagous Macrofauna of different Types of Humus in Beech Forests of the Ardenne (Belgium). *Pedobiologia* 37, 49-56.
- DAVID, J. F., PONGE, J. F., ARPIN, P., & VANNIER, G. (1991): Reactions of the Macrofauna of a forest Mull to experimental Perturbations of Litter Supply. *Oikos* 61, 316-326.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1953): *Klimaatlas für Baden-Württemberg*. Bad Kissingen.
- DILLY, O. & BLUME, H. P. (1998): Indicators to assess sustainable land use with reference to soil microbiology. *Advances in GeoEcology*. 31, 29-36.
- DOMMERMUTH, H. & W. TRAMPF (1990): *Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951-1980, Teil I u. II (mit je 11 Karten 1 : 1 000 000)*. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- DUNGER, W. (1983): *Tiere im Boden*. 3. Aufl., 280 S., Neue Brehm Bücherei, Ziemsen Verlag, Wittenberg.
- EASTON, E. G. (1983): A Guide to the valid Names of Lumbricidae (Oligochaeta). In: Satchell, J. E. (ed.): *Earthworm Ecology*. Chapman and Hall, London, 475-488.
- EDWARDS, C. A. & BOHLEN, P. J. (1996): *Biology and Ecology of Earthworms*. 3. Aufl., 379 S., Chapman & Hall, London.
- EHLERS, W. (1975): Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soils. *Soil Sci.* 119, 242-249.
- EHRMANN, O. & BABEL, U. (1991): Quantitative Regenwurmerfassung - ein Methodenvergleich. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 66 (I), 475-478.
- EHRMANN, O. (1996): Regenwürmer in einigen südwestdeutschen Agrarlandschaften: Vorkommen, Entwicklung bei Nutzungsänderungen und Auswirkungen auf das Bodengefüge. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 35, 135 S., Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- EHRMANN, P. (1933): *Weichtiere, Mollusca. - Die Tierwelt Mitteleuropas II.* (Leipzig, Nachdruck 1956).
- EVANS, A. C., GUILD, W. J. MCL. (1947): Studies on the Relationship of Earthworms and Soil Fertility I. *Biological Studies in the Field. Ann. Appl. Biol.* 34, 307-330.
- FAGER, E.W. (1957): Determination and analysis of recurrent groups. *Ecology* 38: 586-595.
- FOG, K. (1979): Studies on decomposition of wooden stumps. III. Different relations among some gastropod species and species groups to the stump microflora, weather changes and pH. *Pedobiologia* 19: 200-212.
- FÖRSTER, B. (1997): Mikroflora. In: J. Römbke, B. Förster, and L. Beck (ed.), *Handbuch Boden. Boden als Lebensraum für Bodenorganismen bodenbiologische Standortklassifikation -Literaturstudie-*, Landesamt für Umweltschutz, Baden-Württemberg Karlsruhe, p. 45-53.
- FRÖMMING, E. (1962): *Das Verhalten unserer Schnecken zu den Pflanzen ihrer Umgebung*. Berlin .
- FÜLLER, H. (1953): Tiergeographisch-ökologische Untersuchungen über die Lumbriciden des mittleren Saaletales. *Wissenschaftl. Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena* 2, 51-60.
- GÄRDENFORS, U. (1992): Effects of artificial liming on land snail populations. *J. appl. Ecol.* 29: 50-54.

- GLASSTETTER, M. (1991): Die Bodenfauna und ihre Beziehungen zum Nährstoffhaushalt in den Geosystemen des Falten- und Tafeljura (Nordwestschweiz). *Physiographica*, Basler Beiträge zur Physiogeographie 15, 224 S., Basel.
- GRAFF, O. (1953): Die Regenwürmer Deutschlands. Schriften d. Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig. 81 S., Verlag M. & H. Schaper, Hannover.
- GRAFF, O. (1971): Stickstoff, Phosphor und Kalium in der Regenwurmlosung auf der Wiesenversuchsfläche des Sollingprojektes. In D'AGUILAR, J. (ed.): IV Colloquium Pedobiologiae, INRA Publ. 71-7, 503-511.
- GRAVELAND, J. & R. VAN DER WAL (1996): Decline in snail abundance due to soil acidification causes eggshell defects in forest passerines. *Oecologia* (Berl.) 105: 351-360.
- GREVEN, H., BETTIN, C., REICHEL, R. & RÜTHER, U. (1987): Die Wirkung von Säurestress auf *Lumbricus terrestris*. *Verh. Gesellsch. Ökol.* 15, 327-331.
- GUNN, A. (1992): The use of mustard to estimate earthworm populations. *Pedobiologia* 35, 65-67.
- HAIDER, K. (1992): Biochemische Prozesse der Bildung und der Dynamik von Huminstoffen im Boden. *Berichte über Landwirtschaft*, 206: 45-62.
- HÄSSLEIN, L. (1966): Die Molluskengesellschaften des Bayerischen Waldes und des anliegenden Donautales. *Ber. naturforsch. Ges. Augsburg* 110: 1-117.
- HAGEN, B. (1952): Die bestimmenden Umweltbedingungen für die Weichtierwelt eines süddeutschen Flußufer-Kiefernwaldes. *Veröff. zool. Staatssamml. München* 2: 161-276.
- HERMIDA, J., P. ONDINA & A. OUTEIRO (1995): Influence of soil characteristics on the distribution of terrestrial gastropods in northwest Spain. *Eur. J. Soil Biol.* 31: 29-38.
- HUFNAGEL, J. & M. SOMMER (1994): Entwicklung und Erprobung eines Instrumentariums zur Bewertung von Böden in ihren Funktionen als *Standort für die natürliche Vegetation* und als *Filter und Puffer für Schadstoffe*. Abschlußbericht eines Werkvertrages mit der Fa. ÖKOPLAN, im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, 209 Seiten, unveröff.
- IFAB (1998): Bewertung von Böden nach ihrer Eignung als Lebensraum für Bodentiere. Abschlußbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg,
- INGHAM, R.E., TROFYMOW, J.A., INGHAM, E.R., COLEMAN, D.C. (1985): Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol.Monogr.* 55, 119-140.
- JÄGGI, W. (1976): Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. *Schweizerische landwirtschaftliche Forschung* 15, 371-380.
- JENKINSON, D.S., LADD, J.N. (1981): Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: *Soil Bioch.*, Vol. 5 (E.A. PAUL und J.N. LADD, ED.), S. 415-471. Marcel Dekker, New York.
- JOERGENSEN, R. G. (1995): Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. S. 1-229. Institut für Bodenwissenschaft, Universität Göttingen. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 104.
- JOERGENSEN, R. G. (1996): Quantification of the microbial biomass by determining ninhydrin- reactive N. *Soil Biol. Biochem.* 28, 301-306.
- JOERGENSEN, R. G. (1997): Die Beurteilung von Böden mit mikrobiologischen Parametern. *VDLUFASchriftenreihe* 46 Kongressband, 767-770.
- JUDAS, M. (1988): The species-area relationship of European Lumbricidae (Annelida, Oligochaeta). *Oecologia* 76, 579-587.



- JUDAS, M. (1989): Populationsökologie der Regenwürmer (Lumbricidae) in einem Kalkbuchenwald: Abundanzdynamik und Bedeutung von Nahrungsressourcen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme 53, 1-140, Göttingen.
- JUDAS, M. (1990): The Development of Earthworm Populations following Manipulation of the Canopy Leaf Litter in a Beechwood on Limestone. *Pedobiologia* 34, 247-255.
- JUNGBLUTH, J.H. & R. BÜRK (1984): Bibliographie der Arbeiten über die Mollusken in Baden-Württemberg mit Artenindex und biographischen Notizen. *Jh. Ges. Naturkde. Württemberg* 139: 217-276.
- KANDELER, E., MARGESIN, R., ÖHLINGER, R., SCHINNER, F. (1993): Bodenmikrobiologisches Monitoring - Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. *Die Bodenkultur*, 44: 357-377.
- KERNEY, M.P., R.A.D. CAMERON & J.H. JUNGBLUTH (1983): Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas. Hamburg, Berlin.
- KILLHAM, K. (1994): *Soil ecology*, Cambridge. Cambridge University Press.
- KÖRNIG, G. (1984): Die Gastropodenfauna der Eichenmischwälder im herzynischen Raum. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* Berlin 24: 57-77.
- KÖRNIG, G. (1985): Die Landgastropodengesellschaften des Unterharzes. *Malakol. Abh. Mus. Tierk. Dresden* 11: 57-85.
- KÜSTER, H. (1995): *Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa*. München.
- LAMPARSKI, F. (1985): Der Einfluss der Regenwurmart *Lumbricus badensis* auf Waldböden im Südschwarzwald. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 15, 1-202, Freiburg i. Br.
- LAMPARSKI, F. (1996): mündliche Mitteilung
- LAMPARSKI, F.; KOBEL-LAMPARSKI, A. UND R. KAFFENBERGER (1987): The Burrows of *Lumbricus badensis* and *Lumbricus polyphemus*. In: BONVICINI PAGLIAI, A.M. UND P. OMODEO (eds.): *On Earthworms*. Collana U.Z.I., Selected Symposia and Monographs U.Z.I. 2, Mucchi, Modena, 131-140.
- LAVERACK, M. S. (1961): Tactile and chemical Perception in Earthworms. II. Responses to acid pH Solutions. *Comp. Biochem. Physiol.* 2 (1), 22-34.
- LEE, K. E. (1985): *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soil and Land Use*. Academic Press, Sydney.
- LOFS-HOLMIN, A. (1986): Occurrence of eleven Earthworm Species (Lumbricidae) in Permanent Pastures in Relation to Soil-pH. *Swedish J. agric. Res.* 16, 161-165.
- LOZEK, V. (1962): Soil conditions and their influence on terrestrial gasteropoda in Central Europe. *Progr. Soil. Zool.* 42: 334-342.
- MAKESCHIN, F. (1994): Experimentelle Untersuchungen zur Besiedelung anthropogen devastierter, saurer Waldböden mit leistungsfähigen Lumbriciden. 1-197, Akademischer Verlag, München.
- MARTIN, A. (1991): Short-term and long-term effect of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae Oligochaeta) of tropical savannas on soil organic matter. *Biol. Fertil. Soils* 11, 234-238
- MARTIN, K. (1987): Quantitativ-ökologische Untersuchungen zur Schneckenfauna in unterschiedlich ausgeprägten Bachuferbereichen des Mittleren Neckarraumes. *Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 62: 381-464.

- MARTIN, K. (2000): Die Struktur von Gehäuselandschnecken-Gemeinschaften an Standorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften und Kultureinflüssen in Baden-Württemberg. Habilitationsschrift, Universität Hohenheim.
- MARTIN, K., M. SOMMER & J. HUFNAGEL (1998) "Böden als Lebensraum für Organismen - Interdisziplinäre, regional-spezifische Analyse und Bewertung am Beispiel der Gehäuselandschnecken" Endbericht zum PWAB-Vorhaben PW 96.176.
- MARTIN, N. A. (1986): Earthworm biomass: Influence of gut content and formaldehyd preservation on live-to-dry weight ratios of three common species of pasture Lumbricidae. *Soil Biol. Biochem.* 18, 245-250.
- MASCATO, R., MATO, S., TRIGO, D., MARIÑO, F. & DIAZ COSIN, D. J. (1987): Factores del Suelo y Distribución de las Lombrices de Tierra en dos Zonas de Galicia: Comparación de diferentes Métodos estadísticos. *Rev. Écol. Biol. Sol* 24 (2), 111-135.
- MASON, C.F. (1970a): Food, feeding rates and assimilation in woodland snails. *Oecologia (Berl.)* 4: 358-370.
- MASON, C.F. (1970b): Snail populations, beech litter production and the role of snails in litter decomposition. *Oecologia (Berl.)* 5: 215-239.
- MILLAR, A.J. & S. WAITE (1999): Molluscs in coppice woodland. *J. Conch.* 36: 25-48.
- MORDAN, P. (1977): Factors affecting the distribution and abundance of *Aegopinella* and *Nesovitrea* (Pulmonata: Zonitidae) at Monks Wood National Nature Reserve, Huntingdonshire. *Biol. J. Linn. Soc.* 9: 59-72.
- MUYS, B. & GRANVAL, P. (1997): Earthworms as Bioindicators of Forest Site Quality. *Soil Biol. Biochem.* 29, (3/4), 323-328.
- MUYS, B. & LUST, N. (1992): Inventory of Earthworm Communities and the State of Litter Decomposition in the Forests of Flanders (Belgium) and its Implications for Forest Managment. *Soil Biol. Biochem.* 24 (12), 1677-1681.
- NEUENSCHWANDER, M. (1984): Vergleich von Pflanzengesellschaften und Schneckengemeinschaften am Belpberg bei Bern. *Mitt. naturforsch. Ges. Bern N.F.* 41: 77-95.
- NIELSEN, C.O. (1962): Carbohydrases in soil and litter invertebrates. *Oikos* 13: 200-215.
- NORDSTRÖM, S. & RUNDGREN, S. (1974): Environmental Factors and Lumbricid Associations in southern Sweden. *Pedobiologia* 14 (1), 1-27.
- OEKLAND, F. (1929): Methodik einer quantitativen Untersuchung der Landschneckenfauna. *Arch. Moll.* 61: 121-136.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. (1991): *Soil Microbiology and Biochemistry* - Academic Press, London.
- PHILIPSON, J. & R. ABEL (1983): Snail numbers, biomass and respiratory metabolism in a beech woodland Wytham Woods, Oxford. *Oecologia (Berl.)* 57: 333-338.
- PHILLIPSON, J., ABEL, R., STEEL, J., WOODDELL, S. R. J. (1976): Earthworms and the Factors governing their Distribution in an english Beechwood. *Pedobiologia* 16, 258-285.
- PIEARCE, T. G. (1972 a): The Calcium Relations of Selected Lumbricidae. *J. Anim. Ecol.* 41, 167-188.
- PIEARCE, T. G. (1972 b): Acid intolerant and ubiquitous Lumbricidae in selected Habitats in North Wales. *J. Anim. Ecol.* 41, 397-410.
- PONGE, J. F. & DELHAYE, L. (1995): The Heterogeneity of Humus Profiles and Earthworm Communities in a virgin Beech Forest. *Biol. Fertil. Soils*, 20, 24-32.

- POP, V. V. (1987): Density and Biomass of Earthworm *Synusia* in Forest Ecosystems of the Romanian Carpathians. In: Bonvicini Pagliai, A. M. & Omodeo, P. (eds.): On Earthworms. Selected Symposia and Monographs U. Z. I., Mucchi, Modena, 2, 183-190.
- RAW, F. (1959): Estimating Earthworm Populations by using Formalin. *Nature London* 184, 1661-1662.
- REICHLER, D.E. (1977). The role of soil invertebrates in nutrient cycling. In: U. Lohm & T. Persson (Eds.), *Soil organisms as components of ecosystems*. (pp. 145-156). Stockholm: Swedish Natural Science Research Council.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1993a): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – CC 7118 Stuttgart-Nord. Karte mit Begleitband (55 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1993b): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – CC 7918 Stuttgart-Süd. Karte mit Begleitband (73 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1994a): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – CC 7910 Freiburg-Nord. Karte mit Begleitband (65 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1994b): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – CC 8710 Freiburg-Süd. Karte mit Begleitband (67 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1995a): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – Baden-württembergischer Teil der Blätter CC 6310, 6318, 7110, 7126, 7926. Karte mit Begleitband (75 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RILLING, K. & F. WALDMANN (1995b): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1:200.000 – Baden-württembergischer Teil der Blätter CC 7926, 8718, 8726. Karte mit Begleitband (59 Seiten). Geologisches Landesamt. Freiburg.
- RÖMBKE, J. (1985): Zur Biologie eines Buchenwaldbodens. *Carolinea* 43, 93-104.
- RÖMBKE, J. & BECK, L. (1997): Vorstellung der Bodenbiozönose. In J. RÖMBKE, B. FÖRSTER, und L. BECK (ed.), *Handbuch Boden. Boden als Lebensraum für Bodenorganismen - bodenbiologische Standortklassifikation -Literaturstudie-*, Landesamt für Umweltschutz, Baden-Württemberg Karlsruhe, p.14-27.
- RÖMBKE, J. & FÖRSTER, B. (1997): Klassifikation von Bodenbiozönosen. In J. RÖMBKE, B. FÖRSTER, und L. BECK (ed.), *Handbuch Boden. Boden als Lebensraum für Bodenorganismen - bodenbiologische Standortklassifikation -Literaturstudie-*, Landesamt für Umweltschutz, Baden-Württemberg Karlsruhe, p.193-211.
- RÖMBKE, J., BECK, L., FÖRSTER, B., FRÜND, H.-C., HORAK, F., RUF, A., ROSCICZEWSKI, C., SCHEURIG, M. & WOAS, S. (1997): *Boden als Lebensraum für Bodenorganismen – bodenbiologische Standortklassifikation – Literaturstudie*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 1-437.
- ROZEN, A. (1988): The annual Cycle in Populations of Earthworms (Lumbricidae, Oligochaeta) in three Types of Oak-Hornbeam of the Niepolomicka Forest. *Pedobiologia* 31, 169-178.
- RUNDGREN, S. & NILSSON, P. (1997): Sublethal Effects of Aluminium on Earthworms in acid soil: The Usefulness of *Dendrodrilus rubidus* (Sav.) in a laboratory Test System. *Pedobiologia* 41, 417-436.
- SACHS, L. (1992): *Angewandte Statistik*. 7. Aufl., 846 S., Springer Verlag, Berlin.
- SATCHELL, J.E. (1967): Lumbricidae. In: BURGESS, A. & F. RAW (eds.): *Soil biology*. Academic Press. London, 259-322.

- SCHLICHTING, E., H.-P. BLUME & K. STAHR (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. 295 Seiten. Blackwell. Hamburg.
- SCHMID, G. (1966): Die Mollusken des Spitzbergs. In: *Der Spitzberg bei Tübingen. Natur- u. Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ.* 3: 596-701.
- SCHMID, G. (1979): Mollusken vom Grenzacher Horn. In: *Der Buchswald bei Grenzach (Grenzacher Horn). Natur- u. Landschaftsschutzgebiete Bad. Württ.* 9: 225-359.
- SEIFERT, D.V. & S.V. SHUTOV (1981): The consumption of leaf litter by land molluscs. *Pedobiologia* 21: 159-165.
- SIMS, R. W. & GERARD, B. M. (1985): *Earthworms: Synopses of British Fauna. Nat. His. Mus.* 31, London, 1-171.
- SMITH, J.L. & PAUL, E.A. (1992): The significance of soil microbial biomass estimations. In G. Stotzky and J.-M. Bollag (ed.), *Soil Biochemistry*, Marcel Dekker New York, S. 357-396.
- STÄHLI, R., SUTER, E., & CUENDET, G. (1997): Die Regenwurmfauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes - Synthesebericht. *Schriftenreihe Umwelt* 291, 1-90, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- STANDEN, V. (1979): Factors affecting the Distribution of Lumbricids (Oligochaeta) in Associations at Peat and Mineral Sites in Northern England. *Oecologia* 42, 359-374.
- STROSCHEK, K.-D. (1991): Die Gastropodenzönosen der Hessischen Rhön und ihre Bindung an bestimmte Waldgesellschaften. Dissertation, Univ. Gießen.
- SUTTNER, T. (1990). Zur mikrobiellen Aktivität bayerischer Böden in Abhängigkeit von der Nutzung und unter besonderer Berücksichtigung des bodenbiologischen Transformationsvermögens. Universität Bayreuth. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*.
- TATTERSFIELD, P. (1990): Terrestrial mollusc faunas from some South Pennine woodlands. *J. Conch.* 33: 355-374.
- TERHIVUO, J. (1989): The Lumbricidae of Southern Finland: Species Assemblages, Numbers, Biomass and Respiration. *Annales Zoologici Fennici* 26, 1-23.
- THIELEMANN, U. (1986 a): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktettmethode. *Pedobiologia* 29, 296-302.
- THIELEMANN, U. (1986 b): Glasröhrchenmethode zur Lebendbestimmung von Regenwürmern. *Pedobiologia* 29, 341-343.
- TINKER, P.B. (1984): The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant and Soil*, 76, 77-91.
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Reihe 'Luft Boden Abfall', Heft 31: 1-34.
- VALOVIRTA, I. (1968): Land molluscs in relation to acidity on hyperite hills in Central Finland. *Ann. Zool. Fenn.* 5: 245-253.
- VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S. (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 703-707.
- VERHOEF, H.A. (1995): Litterbag Method. In: *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, edited by ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Academic Press, London, San Diego, New York, Boston, Sidney, Tokyo, Toronto: p. 485-490.

- VOLLMER, T. (1999): Die Regenwurmfauna naturnaher Waldökosysteme Südwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit von Standortfaktoren. Diplomarbeit, 130 S. Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim, Stuttgart.
- WÄREBORN, I. (1969): Land molluscs and their environments in an oligotrophic area in southern Sweden. *Oikos* 20: 461-479.
- WÄREBORN, I. (1992): Changes in the land mollusc fauna and soil chemistry in an inland district in southern Sweden. *Ecography* 15: 62-69.
- WALDEN, H.W. (1981): Communities and diversity of land molluscs in Scandinavian woodlands. I. High diversity communities in taluses and boulder slopes in SW Sweden. *J. Conch.* 30: 351-372.
- WARDLE, D. A. (1992): A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev.* 67, 321-358.
- WELLER, F. (1990): Erläuterungen zur Ökologischen Standorteignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1 : 250 000. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten (Hrsg.), S. 1-32.
- WELP, G., LIEBE, F., HELFRICH, H. P., & BRUMMER, G. W. (1998): Inorganic toxicants in soils of North Rhine-Westphalia. I. Evaluation of multi-modal frequency distributions. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 205-210.
- WRIGHT, M.A. (1972): Factors governing Ingestion by the Earthworm *Lumbricus terrestris* (L.) with special Reference to Apple Leaves. *Ann. Appl. Biol.* 70, 175-188.
- ZICSI, A. (1959): Faunistisch-systematische und ökologische Studien über die Regenwürmer Ungarns. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 3-4, 401-447.
- ZICSI, A. & POBOZSNY, M. (1977): Einfluss des Zersetzungsverlaufes der Laubstreu auf die Konsumintensität einiger Lumbriciden-Arten. In: Lohm, U. & Persson, T. (eds.): *Soil Organisms as Components of Ecosystems*. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool., Ecol. Bull. (Stockholm) 25, 229- 239.
- ZICSI, A. (1994): Die Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae) mit Bestimmungstabellen der Arten. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 131, 37-74.