

---

DIPLOMARBEIT

ANALYSE UND BEWERTUNG DER ABUNDANZ UND DES  
ARTENSPEKTRUMS VON REGENWURMPOPULATIONEN (LUMBRICIDEN) IN  
ACKERBAULICH GENUTZTEN BÖDEN DES  
LEHR- UND VERSUCHSBETRIEBES GLADBACHERHOF

JUSTUS – LIEBIG – UNIVERSITÄT GIESSEN  
Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II  
Professur für Organischen Landbau

gestellt von: Prof. Dr. G. Leithold  
eingereicht von: cand. agr. Renate Regina Gnan

Giessen im Juni 2002

## **Inhaltsverzeichnis**

Verzeichnis der Tabellen	I-II
Verzeichnis der Abbildungen	III-IV
Verzeichnis der Abkürzungen	V
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
2.1 DER REGENWURM	3
2.1.1. Systematik und Verbreitung	3
2.1.2 Lebensraum Boden	4
2.1.3 Lebensformtypen	6
2.1.4 Verteilung im Boden	7
2.1.5 Regenwurmgemeinschaften und Assoziationen	8
2.1.6 Fortpflanzung	9
2.1.7 Lebenszyklus	9
2.2 EINFLUSS VON UMWELTFAKTOREN AUF REGENWÜRMER	12
2.2.1 Wasser	12
2.2.2 Temperatur	13
2.2.3 pH – Wert	14
2.2.4 Bodentypen	15
2.2.5 Licht	15
2.2.6 Organische Substanz	16
2.2.7 Aktivitätszeiten	16
2.2.8 Ruhezeiten	16
2.2.9 Migration und Flächenausbreitung	17
2.3 FUNKTION UND BEDEUTUNG VON REGENWÜRMERN IM AGRARÖKOSYSTEM	18
2.3.1 Regenwurmlosung	19
2.3.2 Regenwurmgänge	19
2.3.3 Einfluss auf Infiltrationsraten und Bodenerosion	20
2.3.4 Einfluss auf Bodengefüge	21
2.3.5 Einfluss auf Fauna	21
2.3.6 Einfluss auf Pflanzen	22
2.3.7 Streuabbau	23
2.3.8 Bioturbation	23
2.4 EINFLUSS DER BEWIRTSCHAFTUNG AUF REGENWURMPOPULATIONEN	24
2.4.1 Bodenbearbeitung	25
2.4.2 Fruchtfolge und Kulturpflanzen	27
2.4.3 Wirtschaftsdünger	27
2.4.4 Pflanzenschutzmittel	28
2.4.5 Ökologische Bewirtschaftung	29
2.4.6 Vergleich von Bewirtschaftungssystemen	30
2.5 METHODEN DER REGENWURMERFASSUNG	31
2.5.1 Fangmethoden	32
2.5.2 Effektivität der Methoden	34

2.6	BESTIMMUNG DER ARTEN	36
2.6.1	Anatomie	37
2.6.2	Bestimmungsmethoden	37
2.6.3	Artbestimmung	38
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>41</b>
3.1	LEHR- UND VERSUCHSBETRIEB GLADBACHERHOF	41
3.1.1	Standort	41
3.1.2	Klima	41
3.1.3	Bewirtschaftung	43
3.2	UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN UND DURCHFÜHRUNG DER ANALYSEN	45
3.2.1	Dauertestflächen	45
3.2.2	Regenwurmfang	47
3.3	METHODIK DER REGENWURMBESTIMMUNG	48
3.3.1	Abundanz und Biomasse	48
3.3.2	Artbestimmung	49
3.4	BEGLEITUNTERSUCHUNGEN	49
3.5	STATISTISCHE AUSWERTUNG	50
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>51</b>
4.1	BODENKENNWERTE UND BEWIRTSCHAFTUNGSMASSNAHMEN DER DAUERTESTFLÄCHEN	53
4.2	REGENWURMPOPULATIONEN IN DEN DAUERTESTFLÄCHEN	53
4.2.1	Abundanz und Biomasse	53
4.2.2	Artenspektrum	54
4.2.3	Artenhäufigkeit	56
4.2.4	Vorkommen und Verteilung der Arten in den Böden der Dauertestflächen	57
4.2.5	Dominanzstrukturen	58
4.3	Regenwurmpopulationen und Bewirtschaftungsmassnahmen der Dauertestflächen	59
4.4	BEGLEITUNTERSUCHUNGEN	75
4.4.1	Wiese	75
4.4.2	Wald	78
4.4.3	Rain – Feldmitte	80
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>99</b>

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Verbreitung und durchschnittliche Häufigkeit der Lumbriciden	5
Tabelle 2.2:	Brutdauer und Jugendentwicklung verschiedener Regenwurmarten	11
Tabelle 2.3:	Optimale Temperaturbereiche (° C) für die Entwicklung von Regenwürmer (GRAFF 1953, verändert)	14
Tabelle 2.4:	Aktivitätsdichte und Biomasse von Regenwürmern bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen (FRIEBE & HENKE 1991, verändert)	25
Tabelle 2.5:	Aktivitätsdichte und Einzelwurmgewicht der Regenwürmer in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (STOCKFISCH et. al. 1995)	25
Tabelle 2.6:	Prozentuale Verteilung an Flach- und Tiefgräbern in Bezug auf die Anzahl gefundener Regenwürmer in verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (KRÜCK, 2001)	26
Tabelle 2.7:	Abundanz und Biomasse von Regenwürmern fünf Jahre nach der Bewirtschaftungsumstellung auf ökologischen Landbau (PAPAJA & HÜLSENBERGEN 2000, verändert)	29
Tabelle 2.8:	Ergebnisse von Untersuchungen der Regenwurmfauna in unterschiedlichen Anbausystemen (PFIFFNER 1997, verändert)	31
Tabelle 2.9:	Abundanzen (A) und Biomasse (B) verschiedener Fangmethoden bei trockenem und feuchtem Boden in % (EHRMANN & BABEL 1991)	35
Tabelle 2.10:	Bestimmungsschlüssel nach CHRISTIAN & ZICSI (1999). Beispiel für die Art <i>Lumbricus terrestris</i> L.	39
Tabelle 3.1	Betriebsfläche des Gladbacherhofs. Betriebsspiegel – Stand Mai 2001	43
Tabelle 3.2	Die achtgliedrige Fruchtfolgegestaltung des Gladbacherhofs	43
Tabelle 3.3	Menge (dt/ha) und Art (Gülle/Jauche und Rottemist) der organischen Düngung auf Acker- und Grünland für das Erntejahr 1999	44
Tabelle 3.4:	Termine, Stichprobenumfang und Wiederholungen der Probenahmen im Frühjahr und Herbst 2001	45
Tabelle 3.5:	Schlagnahmen, Schlaggrößen (ha) und Bodentypen der Dauertestflächen	47
Tabelle 4.1:	Bodenfeuchte (Masse in %), Bodentemperatur (° C)	51
Tabelle 4.2:	Füchte 1999 – 2001, letzte Grundbodenbearbeitung und die letzte Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf den Testflächen vor dem Regenwurmfang 2001	52
Tabelle 4.3:	Prozentuale Verteilung der ökologischen Gruppen (Arten) in den Böden der acht Dauertestflächen	57

---

Tabelle 4.4:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Eisensteinfeld 2	60
Tabelle 4.5:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Schöne Aussicht	61
Tabelle 4.6:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Langes Gewann 2	63
Tabelle 4.7:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Kreuz	65
Tabelle 4.8:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Langes Gewann 1	67
Tabelle 4.9:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Eisensteinfelds1	69
Tabelle 4.10:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Über der Koppel	71
Tabelle 4.11:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Ofenloch	73
Tabelle 4.12:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum in einem Wiesenboden	76
Tabelle 4.13:	Abundanz, Biomasse und Artenspektrum in einem Waldboden	79
Tabelle 4.14:	Anzahl der Individuen je 1/10 m <sup>2</sup> von Feldrain zu Feldmitte	81
Tabelle 4.15:	Anzahl der Individuen je 1/10 m <sup>2</sup> von Feldrain zu Feldmitte	81
Tabelle A 1:	Regenwurmabundanz (Ind.) und Regenwurmbiomasse (g) der einzelnen Ackerflächen getrennt nach adulten und juvenilen Entwicklungsstadien	98
Tabelle A 2:	Arten * Flächen Kreuztabelle (SPSS)	100

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1:	Systematische Stellung der Lumbriciden	4
Abbildung 2.2:	Äußere Bestimmungsmerkmale der Lumbriciden	36
Abbildung 2.3:	Kopflappenformen	38
Abbildung 2.4:	Borstenstellungen	39
Abbildung 3.1:	Vergleich der Lufttemperaturen (Monatsmittel) und der Niederschläge in den Jahren 1999 bis 2001 (Wetterstation Gladbacherhof) mit dem langjährigen Mittelwerten (1961-1990) (Klimastation Limburg/Lahn-Offheim)	42
Abbildung 3.2 :	Anbauflächen und Lage der Dauertestflächen des Gladbacherhofs sowie die Orte der Probenahme in Wald und Wiese	46
Abbildung 4.1:	Regenwurmabundanz (Ind./m <sup>2</sup> ) und Regenwurmbiomasse (g/m <sup>2</sup> ) in den Böden der Dauertestflächen	53
Abbildung 4.2:	Abundanz (Ind./m <sup>2</sup> ) und Biomasse (g/m <sup>2</sup> ) juveniler und adulter Tiere in den Böden der Dauertestflächen	54
Abbildung 4.3:	Häufigkeit des Vorkommens der Arten in Prozent	56
Abbildung 4.4:	Relative Individuendominanz adulter Regenwürmer in den Böden der Dauertestflächen	58
Abbildung 4.5:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Eisensteinfeld 2	59
Abbildung 4.6:	Individuendominanz des Standortes Eisensteinfeld 2	60
Abbildung 4.7:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Schöne Aussicht	61
Abbildung 4.8:	Individuendominanz des Standortes Schöne Aussicht	62
Abbildung 4.9:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Langes Gewann 2	63
Abbildung 4.10:	Individuendominanz des Standortes Langes Gewann 2	64
Abbildung 4.11:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Kreuz	65
Abbildung 4.12:	Individuendominanz des Standortes Kreuz	66
Abbildung 4.13:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Langes Gewann 1	67
Abbildung 4.14:	Individuendominanz des Standortes Langes Gewann 1	67
Abbildung 4.15:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Eisensteinfeld 1	68

---

Abbildung 4.16:	Individuendominanz des Standortes Eisensteinfeld 1	69
Abbildung 4.17:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Über der Koppel	71
Abbildung 4.18:	Individuendominanz des Standortes Über der Koppel	72
Abbildung 4.19:	Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Ofenloch	73
Abbildung 4.20:	Individuendominanz des Standortes Ofenloch	74
Abbildung 4.21:	Abundanz (Ind./m <sup>2</sup> ) und Biomasse (g/m <sup>2</sup> ) juveniler und adulter Tiere (Wiese)	75
Abbildung 4.22:	Individuendominanz des Wiesenstandortes	77
Abbildung 4.23:	Abundanz (Ind./m <sup>2</sup> ) und Biomasse (g/m <sup>2</sup> ) juveniler und adulter Tiere (Wald)	78
Abbildung 4.24:	Individuendominanz des Waldstandortes	80

**Verzeichnis der Abkürzungen**

<i>A. caliginosa:</i>	<i>Aporrectodea [Allolobophora] caliginosa SAVIGNY</i>
<i>A. icterica:</i>	<i>Aporrectodea [Allolobophora] icterica SAVIGNY</i>
<i>A. rosea:</i>	<i>Aporrectodea [Allolobophora] rosea SAVIGNY</i>
<i>A. longa:</i>	<i>Aporrectodea [Allolobophora] longa UDE</i>
<i>A. chlorotica</i>	<i>Allolobophora chlorotica SAVIGNY</i>
<i>D. rubidus:</i>	<i>Dendrodrilus [Dendrobaena] rubidus rubidus SAVIGNY</i>
<i>E. fetida:</i>	<i>Eisenia fetida SAVIGNY</i>
<i>L. rubellus:</i>	<i>Lumbricus rubellus HOFFMEISTER</i>
<i>L. castaneus:</i>	<i>Lumbricus castaneus SAVIGNY</i>
<i>L. terrestris:</i>	<i>Lumbricus terrestris LINNÉ [L. herculeus (SAVIGNY)]</i>
<i>O. lacteum:</i>	<i>Octolasion lacteum OERLEY</i>
<i>O. cyaneum:</i>	<i>Octolasion cyaneum SAVIGNY</i>
Ind./m <sup>2</sup> :	Individuen pro Quadratmeter
g Biomasse/m <sup>2</sup> :	Gramm Biomasse pro Quadratmeter
dt:	Dezitonne = 100 Kilogramm
ha:	Hektar = 10.000 m <sup>2</sup>
GPS:	General Position System
GV/ha LN:	Grossvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche
GPS:	Ganzpflanzensilage
Ah:	Humushorizont
pF:	Wasserpotential, Saugspannung
n:	Anzahl der Wiederholungen
<i>N:</i>	Stickstoff
<i>P:</i>	Phosphor
<i>K:</i>	Kalium
<i>Ca:</i>	Calcium
<i>Mg:</i>	Magnesium

## 1 Einleitung

Nicht erst Charles Darwin (1809-1822) hat den großen Nutzen der Regenwürmer für den Boden erkannt. Bereits Aristoteles (384-322 v. Chr.) sprach im Sinne der Regenwürmer von den "Eingeweiden der Erde". Einige hundert Jahre später maß man in Ägypten den Tieren eine so hohe Wertschätzung bei, dass diese heilig gesprochen und ein Verbot erlassen wurde, sie außer Landes zu bringen.

Während im 17. Jahrhundert die Bezeichnung "reger Wurm" die Tätigkeit und Leistung der Tiere im Boden charakterisieren sollte, kam einige Zeit später, im 18. Jahrhundert, die Ansicht auf, der Regenwurm schädige Pflanzenwurzeln. Den Bodentieren drohte daraufhin vielerorts die Verfolgung und Vertreibung aus dem Boden (TRÄNKLE 2001).

Charles Darwin (1837) hat durch seine langjährigen Beobachtungen den vielfältigen Nutzen und den Einfluss der Regenwürmer auf die Eigenschaften des Bodens dargelegt. Ihre besondere Bedeutung für die bodenbildenden Prozesse (BAUCHHENS 1991) und ihre praktische Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit ist heute unumstritten (EMMERLING 1999).

Regenwürmer repräsentieren den überwiegenden Teil tierischer Biomasse im Boden. Durch ihre spezielle Lebensweise übernehmen sie vielfältige Aufgaben, die für das längerfristige Funktionieren des Bodenökosystems unerlässlich sind. Effekte wie der Aufbau stabiler Ton-Humus-Komplexe (Lebendverbau), die Einarbeitung und Vermischung von Pflanzenrückständen, Verbesserung des Gas- und Wasserhaushaltes, Aufschluss des Unterbodens und die Nutzung der Regenwurm-Gangsysteme durch Pflanzenwurzeln wirken sich positiv auf die biologische Aktivität und Fruchtbarkeit des Bodens aus (PFIFFNER 1993, PAPAJA & HÜLSBERGEN 2000).

Ökologisch wirtschaftende Betriebe nutzen verstärkt das Selbstregulierungsvermögen der Böden und sind im besonderen Maße auf die Leistungen der Bodenbewohner angewiesen (HAMPL 1999). In den letzten zehn Jahren haben sich zahlreiche bodenbiologische Methoden zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau etabliert. Die aus landwirtschaftlicher Sicht wichtigste Gruppe der Bodentiere sind die Regenwürmer. Sie sind methodisch und deterministisch relativ leicht zugänglich und gelten durch ihre spezielle Lebensweise und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen als zentrale Bioindikatoren im Boden (EMMERLING 1999). Änderungen in ihrer Charakteristik (Artenspektrum, Abundanz, Artenvielfalt, Migrationsmuster) spiegeln Veränderungen im Lebensraum Boden wieder. Beobachtungen über einen längeren Zeitraum können Aufschluss darüber geben, in welchem Maße

Standorteigenschaften, Witterungsbedingungen und pflanzenbauliche Maßnahmen auf die Entwicklung und Ausprägung von Regenwurmpopulationen einwirken (CHRISTENSEN 1988, PAPAJA & HÜLSBERGEN 2000).

Aus diesen Gründen soll in der vorliegende Arbeit eine erste Analyse und Bewertung der bestehenden Regenwurmfafauna in ackerbaulich genutzten Böden des seit über 20 Jahren ökologisch wirtschaftenden Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof durchgeführt werden. Die Analyse der Lumbricidenpopulation erfolgt dabei in acht ausgewählten Standorten (Dauertestflächen). Ziel ist es, eine Erfassung und Beschreibung der bestehenden Populationsstrukturen in diesen Habitaten vorzunehmen. Untersucht werden die Parameter Abundanz, Biomasse, Artenspektrum und Dominanzverhältnisse.

Da zwischen Agrar- und naturnahen Flächen zahlreiche räumliche Wechselwirkungen bestehen (PFIFFNER & LUKA 2002), wurde die Analyse naturnaher Habitate, wie Wald und Wiese sowie die Gegenüberstellung von Ackerrain und Ackerfläche mit berücksichtigt.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Der Regenwurm

Regenwürmer sind weltweit verbreitet. Natürliche Barrieren für eine Einwanderung von Regenwürmern stellen Wüstengebiete, Polarzonen, Hochgebirgslagen und Gebiete ohne Bodenbildung und Vegetation dar. Auch können Meeresböden von den meisten Arten nicht besiedelt werden, da diese Salzwasser nur für kurze Zeit tolerieren. In Europa, Nordamerika, Australien und Asien stellen die zwei Regenwurm-Familien ***Megascolecidae*** und ***Lumbricidae*** die wichtigsten ökologischen Gruppen der Regenwürmer dar (EDWARDS & BOHLEN 1996). In der vorliegenden Arbeit wird die in Europa vorherrschende Familie der *Lumbricidae* (Lumbriciden) behandelt.

#### 2.1.1 Systematik und Verbreitung

Die systematische Einteilung der Regenwürmer gestaltete sich seit Beginn der Erforschung dieser Gruppe als äußerst schwierig. Mit Erscheinung des Werkes "Oligochaeta" von MICHAELSEN im Jahr 1900 wurde eine Basis der systematischen Einteilung geschaffen. Jedoch wurde die Einteilung der Arten, insbesondere der Gattungen unter Fachleuten weiterhin sehr kontrovers behandelt (GRAFF 1983). Innerhalb der Regenwurmsystematik kam es häufig zu Doppelbeschreibungen, was zu einer großen Zahl von Revisionen führte (ZICSI 1982). Im Jahr 1976 gründete sich die *International Organization for Oligochaet Taxonomy* (IOOT). Diese Vereinigung von Spezialisten ist seither daran interessiert eine einheitliche Ordnung in das System der *Oligochaeten* zu bringen (GRAFF 1983).

Da der Begriff "Regenwürmer" systematisch nicht ganz klar zu definieren ist, werden unter diesem Namen die meist großen terrestrischen ***Oligochaeten*** der ***Opisthopora*** zusammengefasst.

Die ***Oligochaeten*** (Wenigborstern) bilden eine Unterklasse der ***Clitellata*** (Gürtelwürmer). Die Klasse der ***Clitellata*** zählt zum Stamm der ***Annelida*** (Ringelwürmer) (vgl. Abb. 2.1) (STORCH & WELSCH 1991).

<u>Stamm</u>	<b>Articulata</b> (Gliedertiere)			
<u>U-Stamm</u>	<b>Annelida</b>	Arthropoden		
<u>Klasse</u>	<b>Clitellata</b>	Polychaeta	Myzostomida	Echiurida
<u>Unterklasse</u>	<b>Oligochaeta</b>	Hirundinea (Egel)		
<u>Ordnung</u>	Plesiopora	<b>Opisthopora</b>	Prosopora	

Abbildung 2.1: Systematische Stellung der Lumbriciden

Zur Klasse der *Clitellata* werden weltweit circa **3400 Arten** gezählt, davon gehören 3100 Arten der *Oligochaeta* an. Etwa die Hälfte dieser Anzahl gehört zur Familie *Megascolecidae*, die vorwiegend in den Tropen und auf der Südhemisphäre leben. In Afrika ist die artenreiche Familie *Eudrilidae* vertreten und die Familie der *Glossoscolecidae* ist mit annähernd 200 Arten vorwiegend in Süd- und Mittelamerika zu finden. Auf der Nordhemisphäre sind die *Lumbricidae* mit etwa 300 Arten verbreitet. Neben diesen artenreichen Familien existieren weltweit noch mehrere kleinere Familien vertreten (STORCH & WELSCH 1991).

In Deutschland gehören alle einheimischen Regenwürmer zur Familie *Lumbricidae* (Graff 1983). Von den 300 Regenwurmartarten dieser Familie sind in Deutschland 39 Arten nachgewiesen. Lediglich die Hälfte der in Deutschland nachgewiesenen Arten werden jedoch regelmäßig angetroffen (GRAFF 1983, STRESEMANN 1992, DUNGER & FIEDLER 1997).

### 2.1.2 Lebensraum Boden

Lebensraum der Regenwürmer ist der Boden. Die Gesamtheit aller Lebewesen im Boden wird als **Edaphon** bezeichnet. Diese Lebensgemeinschaft der Bodenorganismen besitzt in einem gesunden Boden eine große Artenvielfalt und setzt sich aus Bodenfauna und Bodenflora zusammen. Das Edaphon wird überwiegend von pflanzlichen Organismen, der Bodenflora dominiert (KUNTZE et al. 1994), die Bodenfauna macht nur etwa 20% des Gesamtgewichtes aus. An diesen 20 % präsentieren die Regenwürmer mit einem Anteil von 12 % den überwiegenden Teil der Bodentiere (HERMANN & PLAKOLM 1991).

Das Vorkommen von Regenwürmern an einem Standort ist an eine Vielzahl von Standortfaktoren gebunden (vgl. Kap. 2.2). Regenwurmpopulationen können je nach Habitat starke Unterschiede in Abundanz, Biomasse und Artenvielfalt aufweisen. Zahlreiche vergleichende Untersuchungen benachbarter oder angrenzender Standorte konnten zeigen, dass sich die Abundanz, Biomasse und Artenverteilung von Regenwürmern auf Wiesenboden (Dauergrünland), Waldboden und Ackerland erheblich unterscheiden (vgl. Tabelle 2.1).

Das ausreichende Nahrungsangebot in Wald- und Grünlandböden in Form von organischer Substanz sowie die Bodenruhe wirkt sich positiv auf Regenwurmpopulationen aus und spiegelt sich in höheren Besatzdichten wieder (EDWARDS & BOHLEN 1996). Die Regenwurmpopulation eines Ackerstandortes hingegen wird im wesentlichen durch die Bewirtschaftung beeinflusst (vgl. Kap. 2.4) und diese führt in der Regel zu verminderten Besatzdichten (KUNTZE et al. 1994, STOCKFISCH 1997, KRÜCK et al. 2001).

Tabelle 2.1: Verbreitung und durchschnittliche Häufigkeit der Lumbriciden (DUNGER 1964, verändert)

Standort	Anzahl Arten	Individuenzahl / m <sup>2</sup> (Abundanz)	g Biomasse / m <sup>2</sup>
<i>Wald</i>	30	78	40
<i>Grünland</i>	26	97	48
<i>Acker</i>	4	41	20
<i>Kompost</i>	3	3.000	1.000

Wie anhand der Tabelle zu erkennen ist, weichen Regenwürmer in ihren ökologischen Ansprüchen voneinander ab (DUNGER 1964). Diese stehen oft in Korrelation mit der Biologie der einzelnen Tiere und ihrer Aktivität und Verbreitung im Boden, sowie auch der Ausprägung ihres äußeren Erscheinungsbildes (Phänotyp).

Aufgrund dieser Gemeinsamkeiten (Korrelationen) und anhand der unterschiedlichen Lebensweise hat BOUCHÉ (1977) ein System entwickelt, welches die Tiere drei ökologischen Gruppen zuordnet. Für die in Europa vorkommenden Regenwurmpopulationen hat sich dieses System als zweckmäßig erweisen können und ist heute unter Fachleuten weitgehend etabliert (CURRY 1994). Im folgenden Kapitel werden die von BOUCHÉ (1977) definierten Lebensformen erläutert.

### 2.1.3 Lebensformtypen

Regenwurmarten unterscheiden sich aufgrund ihrer Lebensweise und werden infolgedessen drei verschiedenen Lebensformtypen zugeordnet. Basierend auf der Grundlage eines Systems von BOUCHÉ (1977) werden Regenwürmer aufgrund ihres Lebensraumes und ihrer Ernährungsweise in **epigäische**, **endogäische** und **anözische** Arten eingeteilt.

**Epigäische** Arten (Streuformen) halten sich vorwiegend im Auflagehumus auf und graben sich nur sehr flach in den Boden ein. Als Nahrung dient ihnen die abgestorbene organischen Substanz des Oberbodens (detritovore Ernährung). Epigäische Arten sind in Böden vertreten, die eine hohe Akkumulation an organischer Substanz an der Bodenoberfläche aufweisen, daher sind diese Arten in Waldböden und Grünland häufig. Typische Vertreter sind *Lumbricus rubellus* HOFFMEISTER, *Lumbricus castaneus* SAVIGNY, *Lumbricus festivus* SAVIGNY u.a.

**Endogäische** Arten (Mineralbodenformen) sind meist in den oberen 30 - 50 cm des Bodens angesiedelt. Durch ihre Grabetätigkeit schaffen sie ein umfangreiches aber nicht dauerhaftes, vorwiegend horizontales Röhrensystem. Als Nahrung dienen ihnen mit dem Mineralboden aufgenommene organische Bestandteile wie stark zersetzte Streu- und Wurzellpartikel oder Mikroorganismen (geophage Ernährung). Sie kommen eher selten an die Bodenoberfläche. Endogäische Arten sind an das Leben auf Ackerstandorten angepasst, typische Vertreter sind *Aporrectodea rosea* SAVIGNY, *Allolobophora chlorotica* SAVIGNY, *Aporrectodea caliginosa* SAVIGNY u.a.

**Anözische** Arten (Tiefgräber) zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie dauerhafte und vertikale Gänge anlegen, die tief in den Unterboden reichen und ihnen als Wohnröhren dienen. Als Nahrung bevorzugen diese Regenwurmarten abgestorbene und vorzersetzte Pflanzenteile (detritovore Ernährung). Diese sammeln sie überwiegend auf der Bodenoberfläche wo sie auch den größten Teil ihres Kots ablegen. Die Nahrung wird in die Röhren hinein gezogen. EDWARDS & BOHLEN (1996) vermuten, dass auch diese Arten auf Mikroorganismen als Bestandteil ihrer Nahrung angewiesen sind. Anözische Arten können in Ackerböden vertreten sein. Als typische Arten dieser Lebensform gelten u.a. *Lumbricus terrestris* LINNÉ und *Aporrectodea longa* UDE.

Die Abgrenzung der verschiedenen Lebensformen ist fließend (BOUCHÉ 1977). Einige Arten können nicht eindeutig einer Gruppe (Lebensform) zugeordnet werden. Diese Arten

nehmen eine Zwischenstellung ein und werden als **Intermediäre Arten** bezeichnet. Beispielsweise weicht *Octolasion cyaneum* SAVIGNY von der Lebensweise endogäischer Arten ab, da er vorwiegend vertikale Gänge anlegt, aufgrund seiner Ernährungsweise wird er aber zu den endogäischen Formen gezählt. Das gleiche gilt für *Aporrectodea caliginosa* SAVIGNY. Auch zeigen juvenile Tiere teilweise ein anderes Verhalten als die adulten Vertreter und können deswegen nicht eindeutig zugeordnet werden (STOCKFISCH 1997, BIERI & CUENDET 1989).

Die **Pigmentierung** der Tiere kann einen deutlichen Hinweis auf den jeweiligen Lebensformtyp geben. Epigäische Arten sind in ihrer Färbung dunkler als die endogäischen Mineralbodenformen. Anözische Arten sind sehr oft auf dem vorderen Rückenteil dunkel bis rotbraun gefärbt, das Schwanzende hingegen erscheint hell (DUNGER 1964, GRAFF 1983, CHRISTIAN & ZICSI 1999).

Eine weitere bekannte Regenwurmart ist *Eisenia fetida* SAVIGNY, der Mistwurm. Diese Art ist in der Regel nicht im Boden anzutreffen. Als Lebensraum dienen Mist- oder Komposthaufen. In diesen Substraten erreicht *Eisenia fetida* eine hohe Vermehrungsrate (vgl. Kap. 2.1.7), was auf die Fermentationswärme und die Ernährung zurückzuführen ist (GRAFF 1983).

Arten wie *Aporrectodea longa* und *Lumbricus terrestris* können unter Laborbedingungen 10 Jahre alt werden (DUNGER 1964, GRAFF 1983), letzterer beendet sein Längenwachstum nach 3 Jahren (STORCH & WELSCH 1991). DUNGER & FIEDLER (1997) rechnen unter Freilandbedingungen mit einer Lebenserwartung von 1 Jahr für epigäische und bis zu sechs Jahren für anözische Arten.

#### 2.1.4 Verteilung im Boden

Die räumliche Verteilung (horizontale und vertikale Ausbreitung) der Lumbriciden im Boden geschieht nicht zufällig. Sie ist abhängig von den abiotischen und biotischen Faktoren, bzw. der Interaktion zwischen diesen Umweltfaktoren und dem genetischen Potential der Arten sich an bestimmte Bedingungen im Boden anzupassen und auf Veränderungen zu reagieren. (EDWARDS & BOHLEN 1996).

### Horizontale Ausbreitung

Verschiedene Autoren haben in Versuchen Regenwürmer in neue Habitate eingeführt um deren dortige Vermehrungsrate und die zeitliche Dauer der Ausbreitung und Verteilung im Boden zu beobachten (EDWARDS & BOHLEN 1996).

In diesem Rahmen kalkuliert VHAN RHEE (1996) zit. nach EDWARDS & BOHLEN (1996) für *Aporrectodea caliginosa* eine jährliche Ausbreitung von sechs Metern, für *Allolobophora chlorotica* vier Meter. HOOGERKAMP et al (1983) berichtet für *Aporrectodea caliginosa*, dass sich diese Art innerhalb eines Jahres über neun Meter und *Lumbricus terrestris* über vier Meter ausbreiten kann.

### Vertikale Ausbreitung

Die vertikale Verteilung der Regenwürmer ist für jede Art spezifisch und verändert sich im zeitlichen Ablauf des Jahres. Bei günstigen Bedingungen sind *A. caliginosa*, *A. chlorotica*, *A. rosea*, *L. castaneus* und *L. rubellus* gewöhnlich in den oberen 8 cm des Bodens vertreten. In diesem Bereich erscheinen ebenfalls die Arten *O. lacteum*, *O. cyaneum*, *A. longa*, *A. nocturna* und *L. terrestris* (EDWARDS & BOHLEN 1996). Treten ungünstige Bedingungen für die Tiere im Boden ein, beispielsweise Trockenheit im Sommer oder Kälte im Winter, ziehen sich die meisten Arten in tiefere Bodenschichten zurück (vgl. Kap. 2.2.8) (GERARD 1967).

## **2.1.5 Regenwurmgemeinschaften und Assoziationen**

Je nach geographischer Verbreitung und Habitat werden verschiedener Regenwurmartentypen im Boden angetroffen. Die Vielfalt der Arten ist dabei stark an die wirksamen Umweltfaktoren und die Charakteristik eines Habitats gekoppelt (vgl. Kap.2.2). Durch das gleichmäßige Auftreten typischer Artgruppierungen in verschiedenen Gegenden und Habitaten scheinen bestimmte Regenwurmartentypen mit anderen vergesellschaftet zu sein. Diese Gruppierungen werden als **Regenwurmgemeinschaften** bezeichnet. Sie können aus 1 bis 15 verschiedenen Arten bestehen, wobei für gewöhnlich in einem Habitat nur drei bis sechs Arten angetroffen werden (CURRY 1994, EDWARDS & BOHLEN 1996). Für europäische Regenwurmgemeinschaften (Lumbricidae) berichtet LEE (1985), dass diese in Laubwäldern, auf Wiesen und Dauergrünland am vielfältigsten sind. Die Gemeinschaften in den Böden der Nadelwälder, in Torfböden, in Böden der Heide und im Ackerland sind dagegen weniger artenreich. Nach GRAFF (1983) sollen auf Ackerflächen in Deutschland selten mehr als vier Arten miteinander vergesellschaftet sein. Neben den Regenwurmgemeinschaften, die aus der Charaktere eines Habitates hervorgehen, scheinen bestimmte Arten mit anderen assoziiert zu sein. So treten beispielsweise als typische Arten von Agrarökosystemen *L. terrestris*, *A. longa*, *A. caliginosa* und *O.*

*cyaneum* gemeinsam auf, wobei auch andere Arten wie *L. rubellus*, *A. chlorotica* u.a. hinzutreten können (GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996). In Laubwäldern werden meist *A. rosea*, *A. longa*, *A. caliginosa*, *A. chlorotica*, *O. cyaneum*, *L. castaneus*, *L. terrestris* und *L. rubellus* gemeinsam angetroffen (EDWARDS & BOHLEN 1996).

### 2.1.6 Fortpflanzung

Regenwürmer besitzen männliche und weibliche Geschlechtsorgane und jedes Individuum erzeugt männliche und weibliche Keimzellen, Regenwürmer sind damit Zwitter. Die Fortpflanzung erfolgt gegenseitig. Bei der Paarung ordnen sich die Tiere in entgegengesetzter Richtung mit der Bauchseite aneinander an. Dabei liegen die Samentaschenregionen (Segment 5-11) des einen Tieres dem **Clitellum** des anderen Tieres gegenüber. Durch klebrige Sekrete werden die Tiere in dieser Position festgehalten. Aus den **männlichen Poren** (15. Segment) tritt Sperma aus und gelangt in die Samenrinne. Die entgegengesetzt verlaufenden Spermaströme sammeln sich am Rand des Clitellums. Dort wird dann das Sperma von den segmental angeordneten **Samentaschen** (*Receptacula seminis*) des Partners aufgesogen, welche der Speicherung des Fremdspermas nach der Kopulation dienen. Am Clitellum bildet sich kurz darauf durch die Absonderung von Schleim eine **Kokonhülle** die mit Nährflüssigkeit gefüllt wird. Beim Abstreifen dieser Hülle gleiten die Eier aus den **weiblichen Poren** (Segment 14) und das Sperma aus den Samentaschen (5-11 Segment) in die Kokonhülle. Bei diesem Vorgang kommt es zur **Befruchtung** (GRAFF 1983).

Bei manchen Arten kann es aber auch zur **Parthenogenese** (Jungferzeugung) kommen. Dies konnte in einzelnen Fällen bei *Dendrobaena* und *Octalasion ssp.*, *Eiseniella ssp.* und *Aporrectodea rosea* beobachtet werden (EDWARDS & BOHLEN 1996).

### 2.1.7 Lebenszyklus

Regenwürmer produzieren beim Fortpflanzungsprozess Kokons. Diese werden direkt im Boden oder in der Streu abgelegt. Die meisten Arten umkleiden den Kokon mit Losung. Diese wird während der Brutzeit mikrobiell umgewandelt und das Jungtier findet nach dem Schlupf seine erste Nahrung darin. Pro Kokon entwickelt sich ein Jungtier. Unter den einheimischen Arten entwickelt sich nur der Mistwurm (*Eisenia fetida*) zu mehreren im Kokon (GRAFF 1983).

Die klimatischen Einflüsse und der Witterungsverlauf eines Jahres, sowie die Bodenverhältnisse, insbesondere die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte (vgl. Kap. 2.2), spielen eine entscheidende Rolle für die Anzahl abgelegter Kokons und beeinflussen maßgeblich die Schlupf- und Überlebensrate der Nachkommen (DUNGER 1964, GRAFF,

1983, EDWARDS & BOHLEN 1996). In den Wintermonaten werden aufgrund niedriger Temperaturen nur wenige Kokons produziert. Mit steigenden Temperaturen nimmt die Rate an Kokons im Boden zu. Höchstwerte in der Anzahl produzierter Kokons können in unseren Klimabereich im Frühling und Herbst verzeichnet werden, wenn die Bodenverhältnisse hinsichtlich Feuchtigkeit und Temperatur optimal sind und damit eine hohe Regenwurmaktivität gewährleistet ist (vgl. Kap.2.2.7) (GRAFF 1983, CURRY 1994). Arten, wie *Aporrectodea longa*, die während der Sommermonate eine obligatorische Diapause haben, produzieren nur von Mitte März bis Anfang Juli und Oktober bis November Kokons.

Tabelle 2.2: Brutdauer und Jugendentwicklung verschiedener Regenwurmarten  
(GRAFF 1983)

Art	Temperatur in °Celsius	durchschnittliche Brutdauer in Tagen	durchschnittliche Anzahl der Jungwürmer pro Kokon	Dauer der Jugendentwicklung in Tagen
<i>E. fetida</i>	25	16	2.5	70 – 80
<i>L. rubellus</i>	12	45	0.8	150 – 180
<i>A. caliginosa</i>	12	65	1.0	140 – 170
<i>L. terrestris</i>	12	90		200 – 250
<i>O. cyaneum</i>	15	60	0.7	180 – 200

Die Brutdauer (Zeitraum zwischen Ablage des Kokons und Schlüpfen des Jungtieres) ist artspezifisch, aber auch stark abhängig von der Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Die Jugendentwicklung der Tiere ist bei Ausbildung des Clitellums (vgl. Kap. 2.6.1) und der damit verbundenen Geschlechtsreife beendet. Über die Dauer der Entwicklung einzelner Arten liegen unterschiedliche Angaben vor (EDWARDS & BOHLEN 1996). Zahlreiche Untersuchungen lassen darauf schließen, dass aufgrund der oft ungünstigen Temperatur- und Bodenverhältnisse jährlich nur eine Generation auftritt (GRAFF 1953, DUNGER 1964, EDWARDS & BOHLEN 1996).

Bei Jungtieren, die in humusarmen Böden heranwachsen und damit eine schlechte Ernährungsgrundlage haben, tritt der Effekt auf, dass die Ausbildung der Fortpflanzungorgane verhindert wird. Mit der Ausbildung der Geschlechtsorgane wird jedoch in der Regel das Wachstum des Tieres beendet. Als Folge finden sich in humusarmen Böden oft wenige, dafür aber extrem große Vertreter einer Art (DUNGER 1964, GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996).

## 2.2 Einfluss von Umweltfaktoren auf Regenwürmer

Regenwurmpopulationen sind nicht zufällig im Boden verteilt (EDWARDS & BOHLEN 1996). Ihr Vorkommen ist durch eine räumliche und zeitliche Dynamik gekennzeichnet, welche eine unterschiedliche Anpassung an die Umweltverhältnisse widerspiegeln. Die wirksamen Umweltfaktoren sind dabei weit gespannt und beeinflussen alle Parameter, die direkt oder indirekt auf die Aktivität, das Wachstum und die Verteilung der Tiere einwirken. Diese werden einerseits in abiotische und andererseits in biotische Faktoren unterschieden (SITTE et al. 1991). Im folgenden Kapitel werden vor allem Einflüsse abiotischer Faktoren erörtert.

### 2.2.1 Wasser

Das Vorhandensein von Bodenwasser ist für Regenwürmer lebensnotwendig. Treten ungünstige Verhältnisse hinsichtlich der Bodenfeuchte ein, besitzen Regenwürmer verschiedenen Strategien auf diese zu reagieren (EDWARDS & BOHLEN 1996). So können beispielsweise heiße trockene Sommermonate von einigen Arten in einem Ruhezustand überdauert werden. Angaben ab welchem Wassergehalt (%) des Bodens diese Ruhestadien eingeleitet werden liegen von verschiedenen Autoren vor. ZICSI (1958) gibt an, dass bei den meisten europäischen Arten eine Ruhepause eingeleitet wird, sobald es zu einer Bodenfeuchte unterhalb von 30 % kommt und HEMMANN (1994) beobachtete, dass die Ruhephase der Tiere im Sommer bei ca. 10 % Bodenfeuchte hervorgerufen wird, bei deren Gehalt nach ZICSI (1958) bereits alle Regenwürmer verendet wären. Die Angabe der Bodenfeuchte bringt insofern Probleme mit sich, da sie je nach vorliegender Bodenart unterschiedliche Wassergehalte beschreibt. Nach WESTERNACHER-DOTZLER (1988) ist daher die Bodenfeuchte besser durch den pF-Wert zu charakterisieren. Optimale Verhältnisse liegen hier bei Werten zwischen pF 2.0 und pF 2.5 (bei Temperaturen zwischen 12.8° C und 17.9° C).

Eine weitere Strategie der Tiere auf Trockenheit zu reagieren liegt in ihrer Fähigkeit in feuchtere Bodenbereiche vorzudringen oder abzuwandern. So stellt beispielsweise die anözische Regenwurmart *Lumbricus terrestris* Mindestansprüche an die Bodenfeuchte. Diese Art ist in der Lage ungünstigen Bedingungen an der Bodenoberfläche durch eine Wanderung in tiefere Bodenschichten zu entkommen. Sind die Tiere bei trockenen Bodenbedingungen nicht in der Lage diesen auszuweichen, können sie einen Wasserverlust ihres Körpers von mindestens 50 % tolerieren (EDWARDS & BOHLEN 1996). Nach CURRY (1994) zeigen dabei verschiedene Arten bezogen auf den Wasserlust ihres Körpers unterschiedliche Reaktionen und Toleranzbereiche.

Auch Jungtiere "reagieren" auf zu trockene Bodenverhältnisse, indem sie im Schutze des Kokons verbleiben und erst schlüpfen, wenn der sie umgebende Boden feucht genug ist (GRAFF 1983). Nach Trockenperioden oder Sommermonaten mit nicht ausreichenden Niederschlägen kann es zu einer reduzierten Kokon Produktion kommen, was im Folgejahr wiederum zu Abundanzdepressionen führen kann (GRAFF 1983, HEMMANN 1994). Die Regeneration der Population dauert dann über mindestens zwei Jahre an (HEMMANN 1994, EDWARDS & BOHLEN 1996).

Nasse Böden werden von unseren einheimischen Regenwurmarten in der Regel gemieden, obwohl diese in der Lage sind über eine gewisse Zeit hohe Wassergehalte des Bodens zu tolerieren (DUNGER 1964, GRAFF 1983). *A. chlorotica*, *A. longa*, *D. subrubicunda*, *L. rubellus* und *L. terrestris* konnten beispielsweise 31 bis 50 Wochen in einem überschwemmt Boden überleben. GRAFF (1983) berichtet, dass die Tiere in kaltem Wasser lange Zeit überleben, in warmen Wasser jedoch nur kurze Zeit am Leben bleiben. Da Wasser unter 10° C einen hohen Sauerstoffgehalt hat wird den Tieren weiterhin die Atmung ermöglicht. Folglich schadet ihnen winterliche Überschwemmungen im allgemeinen nicht, sommerliche andauernde Überschwemmungen jedoch können tödlich für sie sein.

Die Beobachtung, dass häufig bei regnerischen Wetter Regenwürmer auf der Bodenoberfläche angetroffen werden, liegt in dem Verhalten der Tiere zu wandern (vgl. Kap.2.2.9). Da sie sich bei nassen Wetter oberirdisch fortbewegen können ohne auszutrocknen, bietet sich bewölkt regnerisches Wetter an, um neue Aufenthaltsorte zu suchen (BIERI & CUENDET 1989).

### 2.2.2 Temperatur

Regenwürmer sind wechselwarme Tiere, ihre Körpertemperatur passt sich der Umgebung an. Der bevorzugte Temperaturbereich liegt bei Bodentemperaturen von 5 - 15° Celsius, von daher ist eine hohe Regenwurmaktivität besonders im Frühjahr und im Herbst zu beobachten. Hitze und Kälte werden durch Rückzug in tiefere Bodenschichten, Abwanderungen oder Ruhephasen (vgl. Kap.2.2.8) überdauert (GRAFF 1983).

Die Temperatur beeinflusst im starken Maße die Fruchtbarkeitsleistung der Regenwürmer. BUTT (1991) untersuchte die Produktion von Kokons unter dem Einfluss der Temperatur und stellte für *L. terrestris* ein Temperaturoptimum von 15° C fest. Auch die Brutdauer ist temperaturabhängig und GRAFF (1983) berichtet, dass die fertig entwickelten Jungtiere der im Herbst abgelegten Kokons von *L. terrestris* erst im Frühling bei einer Temperatur über 12° Celsius den Kokon verließen. Der für Regenwürmer optimale Temperaturbereich muss nicht notwendigerweise der Bereich sein, indem sie am

aktivsten sind oder am schnellsten wachsen (BUTT 1991). Jedoch sind für die Entwicklung der Tiere optimale Temperaturbedingungen wichtig. Bei zu niedrigen Temperaturen kann die Entwicklung gehemmt werden und zu hohe Temperaturen führen in der Regel zu Missbildungen und zum Tod (GRAFF 1983).

Tabelle 2.3: Optimale Temperaturbereiche (° C) für die Entwicklung von Regenwürmer (GRAFF 1953, verändert)

<i>E. fetida</i>	25
<i>A. rosea</i>	12
<i>A. caliginosa</i>	12
<i>A. chlorotica</i>	15
<i>O. cyaneum</i>	15
<i>L. rubellus</i>	15-18
<i>D. rubida</i>	18-20

In wärmeren Klimaten können die Werte für die gleichen Arten andere Optima haben. Oben aufgeführte Arten, die sich in wärmeren Klimaten etablieren konnten, weisen dort höhere Temperaturoptima auf als die europäischen Formen (EDWARDS & BOHLEN 1996).

Das Zusammenspiel von **Bodentemperatur** und **Bodenfeuchte** beeinflussen die Aktivität, das Wachstum, den Stoffwechsel, die Atmung und die Fortpflanzung der Regenwürmer maßgeblich. Hohe Temperaturen und Trockenheit wirken dabei reduzierender auf Regenwurmpopulationen ein als Kälte und überschwemmte Böden (NORDSTRÖM & RUNDGREN 1974). Durch die witterungsbedingten Faktoren können somit regenwurmreiche und regenwurmmarme Jahre eintreten (GRAFF 1983) und zudem das Auftreten bestimmter Spezies beeinflussen, wobei besonders der Bodenfeuchte eine besondere Bedeutung zukommt (HEMMANN 1994).

### 2.2.3 pH-Wert

Die Bodenreaktion ist ein wichtiger Faktor für die Verbreitung und Abundanz von Regenwurmarten. Die meisten Arten ziehen Werte zwischen pH 7,5 und pH 5,5 vor (GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996), wobei jede Art einen spezifischen Säure-Toleranzbereich hat. Säuretolerante Arten, wie *Lumbricus rubellus* und *Dendrobaena octaedra*, sowie *Dendrobaena rubidus* sind oft in den Humuskörpern von Nadelwäldern zu finden (SCHÖPKE 2001). Säureintolerante Arten der Gattung *Aporrectodea* (*Allolobophora*) bevorzugen schwach saure bis alkalische Böden und treten bei Bodenwerten ab pH 4,5 nicht mehr auf. *Lumbricus terrestris* und Arten der Gattung *Octolasion*, wie *Octolasion cyaneum*, tolerieren unterschiedliche pH Werte und zeigen keine ausgeprägten Präferenzen (GRAFF 1983). Durch die Ausscheidungen von Schleim

und Harn können säuretolerante Arten den pH Wert ihrer Gangwände neutralisieren und kommen so mit der sauren Lösung erst gar nicht in Kontakt (GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996).

#### 2.2.4 Bodentyp

Regenwurmpopulationen werden durch die Eigenschaften verschiedener Bodentypen, deren Bodenart und Eigenschaften beeinflusst. Auf **Lehmböden** treten meistens größere Regenwurmpopulationen auf als auf **schweren Tonböden**, **Sandböden** oder **alluvialen Böden**. **Dünensande**, **Moorböden** und **Torfböden** werden von den meisten Arten gemieden (GRAFF 1983, CURRY 1994).

In Böden mit einer guten Wasserführung und Mull als Humusform finden sich hohe Regenwurmdichten und Biomassen. Charakteristische Arten dieser Böden sind vorwiegend *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea (Allolobophora)* und *Octolasion ssp.* (CURRY 1994). In Waldböden mit verschiedenen Humusaufgaben konnte SCHÖPKE (2001) von **Mull** über **Moder** zu **Rohhumus** eine Reduzierung der Artenzusammensetzung, der Populationsdichte und der Biomasse der Regenwürmer beobachten. Eine genaue Einschätzung des Einflusses der Bodenart auf Artenspektrum und Abundanz von Regenwürmern ist in der Regel schwierig, da die jeweiligen charakteristischen Bodeneigenschaften, wie Wasserhaushalt, pH-Wert, Temperatur sowie acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen auf die Populationsentwicklung einwirken (KNÜSTING & BARTELS 1994, EDWARDS & BOHLEN 1996, SCHÖPKE 2001).

#### 2.2.5 Licht

Tageslicht wirkt schädlich auf Regenwürmer ein, jedoch unterscheiden sich die Arten in ihrer Eigenschaft Licht zu tolerieren. Arten, die mit einer dunklen (roten) Pigmentierung ausgestattet sind reagieren unempfindlicher gegen Tageslicht als unpigmentierte Arten. Durch die Pigmentierung der Haut dieser Regenwürmer wird die Wirkung des Lichts abgeschwächt und die ultraviolette Strahlung wirkt nicht so schnell tödlich. Vorwiegend oberflächlich lebende Arten, die auch gelegentlich tagsüber auf der Oberfläche erscheinen sind meist dunkler pigmentiert als die endogäischen Formen, die nicht an die Bodenoberfläche kommen (DUNGER 1964, GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996).

#### 2.2.6 Organische Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz im Boden ist wesentliche Voraussetzung für das Auftreten von Regenwurmpopulationen. Böden mit Dauervegetation und einem hohen Gehalt an organischer Substanz, wie beispielsweise Grünland- und Waldböden weisen

meist größere Regenwurmpopulationen auf als Ackerböden (GRAFF 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996). GRAFF (1983) geht davon aus, dass sich ein hoher Gehalt an organischer Substanz im Boden in der Artenvielfalt widerspiegelt. Der Autor sieht das Auftreten von mehr als fünf Arten eines Habitats als Indiz für einen hohen Gehalt an organischer Substanz im Boden. Eine gute Humusversorgung von Ackerböden wirkt sich fördernd auf die Zahl vorkommender Arten aus (HEMMANN 1994), obwohl die Arten des Ackerlandes an ein geringeres Nahrungsangebot angepasst sind. Der Gehalt an organischer Substanz in Agrarökosystemen wird über Ernte- und Wurzelrückstände und die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern bestimmt (vgl. Kap. 2.4.3) (EDWARDS & BOHLEN 1996).

### **2.2.7 Aktivitätszeiten**

Die zeitliche Dynamik der Regenwürmer wird durch die Standortfaktoren, Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, Bodenreaktion sowie durch Menge und Qualität des Nahrungsangebotes beeinflusst (STOCKFISCH 1997), deren Optimum bei den verschiedenen Arten etwas schwankt (GRAFF 1983). Die Hauptaktivitätszeiten sind beschränkt auf das Frühjahr und den Herbst, bei optimalen Bodentemperaturen und ausreichender Bodenfeuchte. Die Bodenbedingungen beeinflussen die Aktivitätsdauer, so dass sich diese bei günstigen Verhältnissen verlängert. Damit variiert auch die Dauer, in der die Tiere Nahrung aufnehmen, wachsen und sich fortpflanzen können (STOCKFISCH 1997). Anözische und endogäische Arten unterscheiden sich in ihren Ansprüchen an optimale Umweltverhältnisse. Anözische Arten reagieren unempfindlicher gegenüber ungünstigen Bedingungen an der Bodenoberfläche. Durch ihre Verhaltensweise Nahrung in ihre Röhren einzuziehen ist ihr Nahrungsbedarf auch zu Zeiten eines begrenzten Nahrungsangebotes gesichert (DANIEL et al. 1992). Die Nahrungsaufnahme und das Wachstum endogäischer Arten hingegen ist zu diesen Zeiten unterbrochen, da diese Arten in einen Ruhestand übergehen (BOSTRÖM 1988).

### **2.2.8 Ruhezeiten**

Zu Zeiten ungünstiger Witterungsverhältnisse, wenn die Bodenoberfläche zu trocken, zu heiß oder zu kalt für Regenwürmer wird, ziehen sich diese in tiefere Bodenschichten zurück. Diese Zeiten ungünstiger Bedingungen werden von vielen Arten im Ruhezustand überdauert (GRAFF, 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996). Die Tiere rollen sich spiralförmig zusammen, nachdem sie sich mit Kot und Schleim eine höhlenartige Umgebung geschaffen haben, und verbleiben in diesem Zustand, bis die Grenzwerte wieder zu günstigeren Bedingungen hin überschritten werden (PETERS & WALLDORF

1986). Dann ist die Ruhephase beendet. Dauert der ungünstige Witterungsverlauf zu lange an, kann es passieren, dass die Tiere die lange Ruhephase nicht überleben, da sie zu viel an Körpersubstanz verlieren. Davon sind besonders Tiere betroffen, die sich noch im Jugendstadium befinden (GRAFF 1983). Unterschieden werden drei verschiedenen Formen von Ruhestadien:

**1. Quiescence:** in welcher das Tier direkt auf äußere ungünstige Bedingungen reagiert. BOUCHÉ (1972) unterscheidet zwei Formen: (a) *Sommerruhe* oder *Trockenstarre (Aestivation)* und (b) *Winterruhe* oder *Kältestarre (Hibernation)*.

**2. Fakultative Diapause:** welche ebenfalls durch ungünstige Bedingungen verursacht wird, aber nicht sofort endet, sobald günstigere Bedingungen eingetreten sind, sondern erst nach Ablauf einer bestimmten „kritischen Zeit“.

**3. Obligatorische Diapause:** welche zu einer bestimmten Zeit im Jahr auftritt und nicht durch äußere ungünstige Bedingungen verursacht wird.

Alle Regenwurmarten, *außer L. terrestris*, scheinen im Sommer sowie im Winter in eine Ruhephase zu gehen (EDWARDS & BOHLEN 1996). Die anözische Arte *L. terrestris* überdauert Trockenperioden ohne Verlust der Aktivität, indem sie sich in tiefere Gänge und damit in feuchtere Bodenbereiche zurückzieht (CURRY 1994, EDWARDS & BOHLEN).

### 2.2.9 Migrationen und Flächenausbreitung

Regenwürmer können von einem Ort zum anderen wandern. Zum einem können sie auf diese Weise ungünstigen Umweltbedingungen ausweichen, und zum anderen können sie günstigere Umweltbedingungen aufsuchen und in diese einwandern (EDWARDS & BOHLEN 1996). Um beispielsweise Orte günstigerer Lebensbedingungen zu erreichen legen sie im oder auf dem Boden lange Strecken zurück. Nach HOOGERKAMP et al. (1983) liegt die natürliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Regenwürmern bei der Besiedlung neuer Habitats zwischen 2 bis 15 Metern im Jahr. Das zeigt, dass Lumbriciden aktiv auf ihre Umwelt reagieren können und sie nicht an einen bestimmten Ort (Schlupfort) gebunden sind (WESTERNACHER-DOTZLER 1988).

Abnehmende Abundanzen vom Feldrand (Rain) zum Feldinneren können aus einer **Abwanderung** aus dem Feld als auch aus einer **Zuwanderung** aus den umliegenden Standorten heraus resultieren (WESTERNACHER-DOTZLER 1988, HEMMANN 1994). Raine, Böschungen und angrenzende Wiesen stellen Refugien für die Tiere dar und können Ausgangspunkt und Einwanderungsquelle für eine Neubesiedlung sein (HEMMANN 1994, HEISLER et al. 1998). WESTERNACHER-DOTZLER (1988)

beobachtete, dass in Flächen, auf denen weniger bevorzugte Pflanzen am Rand der Versuchsfläche angebaut wurden, auch weniger Tiere in Ackerfläche einwanderten. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass der Anbau attraktiver Pflanzen am Feldrand, Rain oder Böschung bei einer Neubesiedlung von regenwurmfreien Flächen eine schnellere bzw. stärkere Einwanderung hervorrufen könnte (WESTERNACHER-DOTZLER 1988). Da eine Einwanderung aus einem der Refugien Jahre in Anspruch nehmen würde, bis eine Ackerfläche wieder ganzflächig besiedelt ist (HOOGERKAMP 1983), kommt eine weitere wichtige Rolle für eine Wiederbesiedlung von Standorten der zufälligen passiven Verfrachtung der Tiere zu. Dabei werden Tiere durch abfließendes Oberflächenwasser oder durch Ströme nach heftigen Regenfällen an andere Standorte verfrachtet. Kokons können an den Füßen von Vögeln oder mit anderen Tieren in neue Gegenden verschleppt werden oder sie werden mit Boden oder Pflanzen verbreitet. Der passive Transport durch landwirtschaftliche Maschinen hat dabei den größten Einfluss auf die Ausbreitung verschiedener Arten auf angrenzende Agrarökosysteme (EDWARDS & BOHLEN 1996, HEISLER et al. 1998).

### **2.3 Funktion und Bedeutung von Regenwürmern im Agrarökosystem**

Regenwürmer übernehmen vielfältige Funktionen im Agrarökosystem und werden aufgrund ihrer Bedeutung für die Dekomposition und Bodenstruktur als wichtigste Tiergruppe im Boden betrachtet (DUNGER & FIEDLER 1997). Durch ihre Lebensweise beeinflussen sie den Boden in seinen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften. Ihre grabende Aktivität wirkt sich zugunsten einer verbesserten Infiltration und Durchlüftung des Bodens aus, was Erosionsgefahr vermindert und Bodenverdichtungen entgegenwirkt. Zudem wirkt die Produktion von biogenen Aggregaten in Form von Regenwurmlosung stabilisierend auf den Boden ein und diese tragen entscheidend zur Bildung eines optimalen Bodengefüges bei und wirken sich positiv auf die **natürliche Fruchtbarkeit** des Bodens aus (EMMERLING 1999, PAPAJA & HÜLSENBERGEN 2000).

#### **2.3.1 Regenwurmlosung**

Regenwürmer nehmen neben organischer Substanz und Mikroorganismen auch erhebliche Mengen feinsten Mineralstoffe zur Zerkleinerung der organischen Substanz in ihren Verdauungskanal auf (KUNTZE et al. 1994). Während der Darmpassage kommt es zu einer innigen Vermischung dieser Stoffe (JOSCHKO et al. 2001), welche in Form von Losungsaggregaten ausgeschieden werden. Diese biogenen Aggregate werden als

**Lebendverbauung** bezeichnet, da Tonminerale und Huminstoffe durch Pilzhyphen, Algen bzw. durch die Ausscheidungsprodukte (Schleimstoffe) der Bodenlebewesen miteinander verklebt sind. Sie sind gegen einen mikrobiellen Abbau relativ resistent. Nach BLUME et al. (1995) ergibt sich zwischen Regenwurmbesatz und der Stabilität der Bodenaggregate eine gesicherte positive Beziehung.

Regenwürmer legen ihre Losung, je nach Lebensformtyp, an der Bodenoberfläche oder im Bodeninneren ab (GRAFF 1983, JOSCHKO et al. 2001). Die jährliche Kotproduktion der Regenwürmer kann dabei mehrere Tonnen pro ha ausmachen. Unter europäischen Verhältnissen gehen STORCH & WELSCH (1991) davon aus, dass jährlich über 100 dt/ha Losung an der Bodenoberfläche abgelegt werden und KUNTZE et al. (1994) beziffert die jährliche Losungsproduktion für Weideland mit bis zu 400 dt/ha, was einer 0,5 cm dicken Bodenaufgabe entsprechen würde

### 2.3.2 Regenwurmgänge

Regenwürmer legen durch ihre grabende Tätigkeit im Boden ein oft umfangreiches Gangsystem an. Flachgrabenden Arten schaffen ein horizontales Gangsystem, welches sich meistens im A-Horizont des Bodens befindet. Das Gangsystem dieser Arten ist nicht von Dauer, es wird ständig neu gegraben und die alten Gänge werden mit Losung verfüllt. Tiefgrabende Arten, wie *L. terrestris* und *A. longa* legen dagegen lange, dauerhafte und vertikal verlaufende Röhren an, welche tief in den Unterboden reichen können, dauerhaft bewohnt werden und sehr stabil sind, da sie mit der Losung des Bewohners, der sogenannten Losungstapete, ausgekleidet werden. Gänge der tiefgrabenden Art *A. longa* dringen bis zu einer Tiefe von 45 cm vor, die Gänge von *L. terrestris* reichen gewöhnlich bis zu einem Meter, gehen aber auch bis 2,5 Meter Tiefe. Im oberen Teil der Hauptröhre, etwa 10-15 cm unter der Bodenoberfläche, verzweigt sich diese und führt dann zu mehreren Ausgängen (GRAFF 1983, JOSCHKO 1989).

Der Durchmesser der Röhren beträgt zwischen 2 und 11 mm (JOSCHKO 1989). Die Gesamtlänge eines von Regenwürmern geschaffenen Gangsystems kann unter einem Quadratmeter Boden bis zu 400 Meter lang sein. KUNTZE et al. (1994) berichten, dass auf humusreichen Böden bis zu 150 Wohnröhren pro Quadratmeter festgestellt werden konnten und BAUCHHENS (2001) kalkuliert für die gleiche Fläche Boden bei Minimalbodenbearbeitung (Lößlehm) 551 Regenwurmröhren mit einer Gesamtröhrenstrecke von 441 Metern. Bei lehmigen Böden (Lößböden) bleiben die Röhren noch längere Zeit nach Abwanderung oder Tod des Wurmes fossil im Boden erhalten. Die Zahl der Regenwurmröhren pro m<sup>2</sup> ist daher in der Regel erheblich höher als die aktuelle Regenwurmdichte (JOSCHKO 1989), was bei einer Angabe in Bezug auf die

Anzahl Röhren, welche aus der aktuellen Regenwurmdichte einer Fläche errechnet wurde, berücksichtigt werden sollte.

### 2.3.3 Einfluss auf Infiltrationsraten und Bodenerosion

Regenwurmgänge zählen in der Bodenkunde zu den Makroporen ( $>50\ \mu\text{m}$ ) und stellen bevorzugte Leitungsbahnen für Wasser und Luft dar (JOSCHKO et al. 2001). Von besonderer Bedeutung sind dabei die vertikalen Gänge der tiefgrabenden Regenwurmart. Die von den Tiefgräbern geschaffenen Grobporen erhöhen die Infiltrationsrate, d. h. die Wassermenge, die pro Zeiteinheit in den Boden eintritt. Damit steigt die Regenverdaulichkeit des Bodens an. Der Boden neigt weniger zu Verschlämmungen und Oberflächenabfluss und als Folge wird die Gefahr der Bodenerosion deutlich gemindert (vgl. Kap.2.3.3) (BIERI & CUENDET 1989, BLUME et al. 1995, HEISLER et al.1998, JOSCHKO et al. 2001, KRÜCK et al. 2001).

Auch die Losungsaggregate der Regenwürmer sind durch ihre besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften an der verbesserten Wasserführung beteiligt. Durch ihre stabilen Hohlräume wird ein Zerfall bei Einwirkung von Wasser verhindert. Auch das lässt darauf schließen, dass intensiv lebendverbaute Böden eine höhere Infiltrationsrate besitzen als wenig verbaute hinsichtlich der chemischen und physikalischen Eigenschaften aber gleichwertiger Böden (KUNTZE 1994, KRÜCK et al. 2001).

Insbesondere verdichtete Böden weisen eine stark verminderte Infiltrationsrate auf. Die Bodenverdichtung führt zu einer Abnahme des Gesamtporenvolumens, insbesondere des Grobporenanteils. Tiefgrabenden Regenwurmart, wie *L. terrestris* und *A. longa*, können verdichtete Bodenhorizonte durchdringen und somit die Infiltrationsrate des Bodens sowie den Anteil von Grobporen wieder erheblich verbessern (JOSCHKO 1989, LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000, JOSCHKO et al. 2001). In Gefäßversuchen mit verdichteten Boden wurde beobachtet, dass die Lagerungsdichte der Losungsaggregate von *L. terrestris* bisher immer unter der des Ausgangsbodens lag. Der hohe Bakterienbesatz der Aggregate verhindert wahrscheinlich durch deren Schleimstoffe eine Wiederverdichtung des Bodens (JOSCHKO et al 2001). Die durch die Losungstapete stabilisierten vertikalen Gänge erhöhen zudem die Gefügestabilität des Bodens. Nach HARTGE & SOMMER (1980) wirkt sich dies vorteilhaft gegenüber Druckbelastungen aus, da Strukturen umso stabiler sind, je ausgeprägter sie in Richtung der einwirkenden Druckbelastung ausgerichtet sind.

### 2.3.4 Einfluss auf Bodengefüge

Die räumliche Anordnung der organischen und mineralischen Bestandteile, durch die das gesamte Bodenvolumen in Volumen der festen Bodensubstanz und in Porenvolumen

(Luft, Wasser) aufgeteilt wird, wird als **Bodengefüge** bezeichnet. Durch das Bodengefüge werden die Funktionen des Bodens hinsichtlich der Luft- und Wasserzügigkeit, der Durchwurzelbarkeit, der Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen, die Abbauvorgänge von organischen Rückständen und die Humusbildung entscheidend beeinflusst. Dieses Bodengefüge wird von den Bodentieren, *insbesondere von den Regenwürmern*, maßgeblich mitgestaltet und beeinflusst (GRAFF 1983, BIERI & CUENDET 1989, HEISLER et al. 1998).

Die Losungsaggregate der Regenwürmer sorgen für eine aus pflanzenbaulicher Sicht wünschenswerten Krümelstruktur des Bodens. Dieser Strukturzustand des Bodens wird als *Bodengare* bezeichnet. Die Frost-, Schatten- und Bearbeitungsgare ist mit der auf biologischen Wege entstandenen Gare nicht zu vergleichen. Die biogenen Aggregate der Regenwürmer unterscheiden sich von den chemisch-physikalisch scharfkantigen Bodenaggregaten unter anderem durch ihre mechanische Stabilität (KUNTZE et al. 1994, HERRMANN & PLAKOLM 1991). Böden mit einer verstärkten biologischen Aktivität weisen durch den Lebendverbau der Bodenpartikel eine höhere mechanische Stabilität des Bodens auf. Dadurch vermindert sich eine Verdichtungsgefahr durch schwere landwirtschaftliche Maschinen (FRIEBE & HENKE 1992).

### 2.3.5 Einfluss auf Fauna

Die verlassenen Regenwurmröhren schaffen Lebensraum für viele andere Bodenlebewesen, zum Beispiel nutzen die meistens nicht grabfähigen Raubmilben und Collembolen die Röhren als Wohnraum (BAUCHHENS 2001, HEISLER & BRUNOTTE 1998). Nach HEISLER et al. (1998) leben unter einem Quadratmeter Boden ca. 43% der nichtsymbiontischen N-Fixierer in den Gängen der Regenwürmer und nach BAUCHHENS (1983) sind 90% der fossilen Gänge von Collembolen besiedelt. Regenwürmer und Collembolen sind positiv vergesellschaftet, bei hohen Regenwurmdichten kommt es zu einer hohen Abundanz von Collembolen und Raubmilben im Boden. Diese Tiere sind am Aufbau des Mikrogefüges beteiligt und übernehmen eine wichtige Funktion in der Steuerung der Mineralisationsprozesse des Bodens. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Mikroflora (Pilze, Bakterien), Mesofauna (z.B. Collembolen) und Raubmilben ist Voraussetzung für einen optimalen Ablauf der Dekomposition und Mineralisation in Agrarökosystemen (HEISLER et al. 1998).

### 2.3.6 Einfluss auf Pflanzen

Die von Regenwürmern unbewohnten Gänge werden häufig von Pflanzenwurzeln besiedelt. Dadurch wird eine tiefe und intensive Durchwurzelung des Bodens gefördert

und den Pflanzen wird der Zugang zu tieferen Bodenschichten und deren Wasservorräten erleichtert oder sogar erst ermöglicht (HOGERKAMP et al. 1983, JOSCHKO et al. 2001). Die kontinuierlichen Makroporen erleichtern aber nicht nur ein Eindringen der Wurzeln in den Boden, sondern sie sind ebenso Ort eines gesicherten Gasaustausches und die nährstoffreiche Auskleidung der Regenwurmrohre (Tapete) gewährleistet die Aufnahme und das ausreichende Angebot von Pflanzennährstoffen (HEISLER et al. 1998). Indirekt wird damit die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen beeinflusst (BIERI & CUENDET 1989), was vor allem in schweren oder verdichteten Böden entscheidend für das Wurzelwachstum sein kann. Insbesondere für die Entwicklung junger Pflanzen können diese Strukturen von großer Bedeutung sein (BAUCHHENS 2001).

Die Losungsaggregate der Regenwürmer besitzen eine hohe Kationenaustauschkapazität (KAK) und die Pflanzennährstoffe liegen in leicht verfügbarer Form vor (KUNTZE et al. 1994). Die Aggregate zeichnen sich durch eine große Wasserkapazität aus und der hohe Anteil organischer Reste in der Regenwurm Losung bringt automatisch eine höhere Konzentration an Nährstoffen (**N, P, K, Ca, Mg**) im Mikrobereich als im umliegenden Boden mit sich. Diese Konzentration von Nährstoffen kommt Pflanzen zugute, da sie sich leicht mit den nötigen Nährelementen versorgen können (GRAFF 1983).

Direkte Effekte von Regenwürmern auf die **Erträge** von Kulturpflanzen sind aus methodischen Gründen schwer zu erfassen. Die Tiere beeinflussen mit ihrer Tätigkeit den Boden sowohl physikalisch, chemisch als auch biologisch und können dadurch Einfluss auf die Ertragsleistungen nehmen (BIERI & CUENDET 1989). HOGERKAMP et al. (1983) berichten, dass auf Weideflächen, auf denen zuvor Regenwürmer ausgesetzt wurden, Mehrerträge von 6,2 % bis 8,9 % als auf den Vergleichsflächen erzielt wurden.

### 2.3.7 Streuabbau

Lumbriciden sind maßgeblich am Ab- und Umbau der anfallenden organischer Substanz beteiligt. Sie arbeiten die jährlich anfallende Streu von Laubbäumen, Kräutern und Gräsern praktisch vollständig in den Boden ein. Organisch gebundene Nährstoffe der abgestorbenen Pflanzenteile gelangen durch die Tätigkeit der Regenwürmer in den Boden und werden dort durch Mikroorganismen sukzessiv freigesetzt (BIERI & CUENDET 1989). HOOGERKAMP et al. (1983) beobachtete auf Wiesenflächen, dass eine 0.5 bis 2.5 cm starke Auflage aus Grasblättern und Kuhmist nach einem Jahr vollständig in den Boden eingearbeitet war und der Gesamtstickstoffgehalt des Oberbodens (20 cm) innerhalb von acht Jahren von 0.204 Tonnen auf 1.1000 Tonnen pro Hektar anstieg.

FRIEBE & HENKE (1991) wiesen die Bedeutung von Regenwürmern beim Abbau von Stroh an der Bodenoberfläche nach. Die Autoren konnten zeigen, dass bei einem Angebot von 60 dt/ha Stroh in einer Vegetationsperiode durch die Regenwürmer (Biomasse von 170g/m<sup>2</sup>) zusätzlich zur Kontrolle (ohne Regenwürmer) bis zu 20 dt/ha Stroh (Direktsaat) von der Bodenoberfläche verschwanden und in den Boden eingearbeitet wurden.

Auch STOCKFISCH (1997) konnte beobachten, dass der Beitrag von Regenwürmern zum Abbau von Ernterückständen mit der Regenwurm-Biomasse steigt. In einem Bearbeitungssystem sollte die Biomasse der Tiere hoch sein sollte, um eine größtmögliche Beteiligung der Regenwürmer am Abbau der Ernterückstände zu erzielen. Um eine langfristige stabile Regenwurmpopulation im Feld zu erzielen, muss die Intensität des Bearbeitungsverfahrens und der Zeitpunkt der Bearbeitung so gewählt werden, dass diese an die Bedürfnisse der Bodentiere angepasst sind (vgl. Kap. 2.4.1) (STOCKFISCH 1997).

### 2.3.8 Bioturbation

Unter mitteleuropäischen Bedingungen erfolgt die biologische Bodendurchmischung in erster Linie durch Regenwürmer (KUNTZE et al. 1994). Durch ihre Lebensweise tragen sie in erheblichen Maße zur Umlagerung von Boden bei. Wie die vorangestellten Kapitel gezeigt haben, werden die auf der Bodenoberfläche anfallende Pflanzenreste von den Regenwürmern im Bodenprofil verteilt, während der Darmassage zerkleinert und mit mineralischen Bestandteilen, Mikroorganismen, Nährstoffen und Enzymen vermischt und schließlich als Losungsaggregate ausgeschieden (EDWARDS & BOHLEN 1996, JOSCHKO et al. 2001). Die **Verteilung** der Pflanzenrückstände im Bodenprofil und die Ablage von Losungsaggregaten beeinflusst die mikrobielle Aktivität und die Menge des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs im Boden. Daraus ergeben sich positive

Rückkopplungen auf das Bodenleben und die Bodenstruktur (EDWARDS & BOHLEN 1996, STOCKFISCH 1997).

Die stetigen Kotablagerungen auf der Oberfläche und in den Regenwurmgängen führen dazu, dass der Oberboden fortwährend mit neugebildeten Mullhumus versorgt wird und eine ständige Nachlieferung von Nährstoffen für die Kulturpflanzen gewährleistet ist (FRIEBE 1992).

## **2.4 Einfluss der Bewirtschaftung auf Regenwurmpopulationen**

Regenwürmer gestalten sich als Bodenwühler ihren Lebensraum selbst. In Agrarökosystemen sind sie, wie die anderen Bodentiere auch, den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen willkürlich ausgesetzt. Eine zunehmende Intensivierung landwirtschaftlicher Anbausysteme führt in der Regel zu einem Rückgang der Arten- und Individuendichte der Bodenfauna. Die Bewirtschaftungsart hat daher erhebliche Auswirkungen auf die gesamte Bodenfauna und somit auf die biologische Aktivität des Bodens. (HEISLER 1998, BAUCHHENS 2001).

Im folgenden werden die Auswirkungen einzelner pflanzenbaulicher Maßnahmen auf Regenwurmpopulationen in Agrarökosystemen dargestellt.

### **2.4.1 Bodenbearbeitung**

Der mechanische Eingriff der Bodenbearbeitung wirkt sich auf die Aktivitätsdichte der Regenwürmer im Boden aus (BAUCHHENS 2001, EDWARDS & BOHLEN 1996, KRÜCK et al 2001). Zahlreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass sich bei einer Reduzierung der Bearbeitungsintensität die Regenwurm Besatzdichten erhöhen (BAUCHHENS 1983, FRIEBE & HENKE 1992, WESTERNACHER-DOTZLER 1988, BLUME et al. 1995, STOCKFISCH 1997, HEISLER 1998, JOSCHKO et al. 2001, KRÜCK et al. 2001).

Langjährige Untersuchungen von FRIEBE & HENKE (1991) weisen bei **konventioneller Bodenbearbeitung** (Pflug, 25 cm tief), **konservierender Bodenbearbeitung** (Schwergrubber 25 cm tief) und **Direktsaat** ein Verhältnis der Regenwurmbesatzdichten von **1: 2: 4** auf (vgl. Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Aktivitätsdichte und Biomasse von Regenwürmern bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen (FRIEBE & HENKE 1991, verändert)

	<b>Konventionell</b>	<b>Konservierend</b>	<b>Direktsaat</b>
Aktivitätsdichte Verhältnis in %	1	2	4
Biomasse [g · m <sup>-2</sup> ]	38	62	167

Die vorliegenden Untersuchungen lassen erkennen, dass vor allem die wendende Bodenbearbeitung für Regenwurmpopulationen schwerwiegende Folgen haben kann. Auch STOCKFISCH (1997) konnte bei Vergleichen der Varianten **Konventionelle Lockerbodenwirtschaft LW** (Pflug, 25 cm tief) und **Festboden-Mulchwirtschaft FMW** (wühlend-mischende Geräte, max. 7 cm tief) Unterschiede im Regenwurmbesatz finden, die Aktivitätsdichte lag in der FMW um den **Faktor 3,5** höher (vgl. Tabelle 2.5).

Tabelle 2.5: Aktivitätsdichte und Einzelwurmgewicht der Regenwürmer in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (STOCKFISCH et al. 1995)

	<b>Aktivitätsdichte [Ind. · m<sup>-2</sup>]</b>			<b>Einzelwurmgewicht [g · Ind.<sup>-1</sup>]</b>		
	<b>Juvenil</b>	<b>Adult</b>	<b>Gesamt</b>	<b>Juvenil</b>	<b>Adult</b>	<b>Gesamt</b>
<b>FMW</b>	60.4	5.1	65.5	1.1	4.6	1.4
<b>LW</b>	16.7	1.1	17.8	1.1	4.7	1.4

(Parabraunerde-Kolluvium aus Löß)

Während STOCKFISCH (1997) beim Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme keine Unterschiede in der Artenzusammensetzung und im Einzelwurmgewicht beobachten konnte, wiesen KRÜCK et al. (2001) einen Anstieg besonders der tiefgrabender Arten bei pflugloser Bodenbearbeitung nach (vgl. Tabelle 2.6)

Tabelle 2.6: Prozentuale Verteilung an Flach und Tiefgräbern in Bezug auf die Anzahl gefundener Regenwürmer in verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (KRÜCK, 2001)

<b>Art</b>	<b>Lebensform</b>	<b>Konventionell</b>	<b>Konservierend</b>	<b>Direktsaat</b>
<i>A. caliginosa</i>	Flachgräber	21.0%	23.0%	17.0%
<i>A. rosea</i>	Flachgräber	10.0%	5.0%	16.0%
<i>A. chlorotica</i>	Flachgräber	53.0%	54.0%	51.0%
<i>A. spec.</i>	Flachgräber	11.0%	6.0%	7.0%
<b><i>L. terrestris</i></b>	<b>Tiefgräber</b>	<b>3.0%</b>	<b>11.0%</b>	<b>8.0%</b>

Konventionelle Verfahren: Pflug (30 cm Tiefe). Konservierende Verfahren: Schwergrubber (20 cm Tiefe)

Durch den Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung nimmt der Anteil der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* von 3 % auf 8 - 10 % zu (KRÜCK 2001).

Auch EDWARDS & BOHLEN (1996) konnten bei einem Bodenbearbeitungsvergleich bei der **Direktsaat Variante** einen um den Faktor 1,5 – 6,0 (Biomasse 1,7 - 6,7) höheren Besatz der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* im Vergleich zur **Pflug Variante** registrieren, die Populationen von *A. longa*, *L. castaneus*, *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. chlorotica* und *O. cyaneum* erhöhten sich hingegen nur um den Faktor 1,1 - 2,6 (Biomasse 1,2 – 3,1).

Je geringer die mechanische Bodenbearbeitung ist, desto höher ist auch die Abbauraten von Ernterückständen. Diese steht in einem deutlichen Zusammenhang mit der Abbauleistung der Regenwürmer (vgl. Kap. 2.3.7) Durch die wendende Bodenbearbeitung werden vor allem den tiefgrabenden Arten, wie *L. terrestris* und *A. longa*, ihre Nahrungsgrundlage entzogen, da keine organische Substanz auf der Bodenoberfläche verbleibt (FRIEBE & HENKE 1992, STOCKFISCH 1997, KRÜCK et al. 2001), deren Angebot und Menge als limitierender Faktor für das Auftreten tiefgrabender Arten gesehen werden kann (EDWARDS & BOHLEN 1996).

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass es bei einer Verringerung der Bearbeitungsintensität zu höheren Regenwurmpopulationen aller Arten kommen kann. Vor allem die tiefgrabenden Arten werden durch Minimalbodenbearbeitung begünstigt (FRIEBE & HENKE 1992, KRÜCK 2001). Ursachen für die Zunahme der Regenwürmer sind verbesserte Nahrungsangebote an der Bodenoberfläche, größere Bodenruhe und feuchtere und kühlere Bodenverhältnisse durch Beschattung und einer Mulchdecke an der Bodenoberfläche (GRAFF 1983). Aus pflanzenbaulicher Sicht führt dies zu einer wünschenswerten Gefügestabilisierung in den oberen Bodenschichten, die für den Saataufgang und die Durchwurzelung, aber auch für die Befahrbarkeit und die Infiltration von Regenwasser von besonderer Bedeutung sind (KRÜCK 2001).

#### **2.4.2 Fruchtfolge und Kulturpflanzen**

Die Gestaltung der Fruchtfolge kann das Bodenleben und damit die gesamte biologische Aktivität des Bodens wesentlich beeinflussen. In intensiv genutzten Ackerflächen mit einseitigen Fruchtfolgen und dem sporadischen Fehlen einer Vegetationsdecke kommt es häufig zu Abundanzdepressionen der Bodenfauna. Als Folge können sich keine stabilen Biozöosen (Lebensgemeinschaften) aufbauen, was zur Etablierung einer einseitigen und labilen Bodenfauna führt (HEISLER 1998).

Der wichtigste Faktor bei Betrachtung der Fruchtfolge in Agrarökosystemen ist der Verbleib und Anfall von Ernte- und Wurzelrückständen auf dem Feld, welcher das Nahrungsangebot für Regenwürmer darstellt (HEMMANN & LEITHOLD 1994). Ein hoher Anteil an Hackfrüchten in der Fruchtfolgegestaltung hat eine reduzierende Wirkung auf Regenwurmpopulationen. Eine einjährige Grünbrache sowie der Anbau von Wintergetreide und anschließender Zwischenfrucht kann dagegen eine erhebliche Förderung der Aktivitätsdichte von Regenwürmer zur Folge haben (KNÜSTING & BARTELS 1994, HEISLER 1998). Bei Versuchen von KNÜSTING & BARTELS (1994) lag die Aktivitätsdichte in den Getreidekulturen mit anschließender Zwischenfrucht doppelt so hoch (10-11 Ind./m<sup>2</sup>) wie in der Zuckerrübenkultur (5 Ind./m<sup>2</sup>).

Einen Einfluss der Kulturarten auf die Artenzahlen konnten KNÜSTING & BARTELS (1994) nicht nachweisen. Die hohe Artenzahl auf der Versuchsfläche von sieben und acht Arten führen die Autoren auf den Anbau von Klee-grasgemenge vor Versuchsbeginn zurück, der durch die grünlandähnlichen Verhältnisse das Überleben einer hohen Artenzahl sichern konnte. Gleiche Beobachtungen liegen von HEISLER & BRUNOTTE (1998) vor.

### 2.4.3 Wirtschaftsdünger

Regenwürmer brauchen natürlich organische Stoffe zu ihrer Ernährung. Das Angebot von organischer Düngung wirkt sich auf Regenwurmpopulationen äußerst positiv aus (HEMMANN & LEITHOLD 1994).

**Stallmist** zeigt, abhängig von Menge und Qualität, eine nachhaltige Wirkung auf die Aktivitätsdichte von Regenwürmern in Agrarökosystemen (GRAFF 1983). PFIFFNER (1993) stellte auf Flächen, welche mit *Frischmist* versorgt wurden höhere Regenwurmpopulationen fest, als auf Flächen auf denen *Mistkomposte* ausgebracht wurden. Da der Frischmist mehr unzersetztes pflanzliches Material als der Kompost enthält, geht der Autor davon aus, dass sich dies positiv auf den Regenwurmbesatz ausgewirkt hat. EDWARDS & BOHLEN (1996) errechneten für 120.000 adulte Regenwürmer/ha (12 Ind./m<sup>2</sup>) eine jährliche konsumierte Menge an Kuhmist von 170-200 dt/ha und für die gesamte Population eine Menge von 250-300 dt/ha. HEMMANN (1994) konnte eine Zunahme der Biomasse adulter *L. terrestris* beobachten, die eine Stallmist Gabe von 300 dt/ha erhielten.

BLUME et al. (1995) konnten in langjährigen Versuchen bei der Düngung mit **Gülle** deutlich erhöhte Abundanzen und Biomassen beobachten. Andere Autoren berichten hingegen von einer toxischen Wirkung der Gülle auf die Regenwürmer. Davon sind besonders die tiefgrabenden Arten betroffen, da es in deren Gangsystem zu einer schnellen Infiltration des Flüssigdüngers kommt. Endogäische Arten hingegen können aufgrund ihres horizontalen Gangsystems der toxischen Güllewirkung entgehen (HEMMANN 1994).

### 2.4.4 Pflanzenschutzmittel

Effekte von PSM auf Regenwürmer hängen von deren chemischen Zusammensetzung ab. Eine regelmäßige Anwendung von Insektiziden und Fungiziden wirkt tödlich auf viele Bodentiere. Regenwürmer zählen zu den Bodentieren, die eine relative hohe Empfindlichkeit gegenüber Pflanzenschutzmitteln zeigen. Herbizide haben unter den PSM die geringste toxische Wirkung auf Regenwürmer. Sie können jedoch einen Rückgang der Population bewirken, da der Anfall organischer Substanz gemindert wird und die Beschattung durch Unkräuter entfällt. Fungizide dagegen wirken stark toxisch auf Regenwürmer und können einen starken Rückgang der Population bewirken (EDWARDS & BOHLEN 1996, WERNER 2001).

In welcher Weise Regenwürmer diesen ausgesetzt sind und wie sie auf diese reagieren hängt wiederum von vielen variablen Faktoren ab welche nicht nur auf die chemische Zusammensetzung der Pflanzenschutzmittel zurückzuführen sind, sondern auch auf Art

und Weise der Applikation, dem Bodentyp, den abiotischen Faktoren und das spezifische Verhalten einzelner Regenwurmart (EDWARDS & BOHLEN 1996). So gilt beispielsweise *Aporrectodea rosea* als relativ Kupfer tolerant (HEMMANN 1994) und wird im Gegensatz zu *Lumbricus terrestris* durch die Applikation kupferhaltiger Mittel (Fungizide) nicht direkt geschädigt (NIKLAS (1980) zit. nach PAPAJA & HÜLSBERGEN 2000).

Juvenile Regenwürmer sind toxischen Wirkstoffen eher ausgesetzt als adulte Tiere, da sich diese nahe der Bodenoberfläche aufhalten (vgl. Kap. 2.1.3) und nicht fähig sind sich in tiefere Bodenschichten zurückzuziehen. Tiefgrabende Arten sind oft einer hohen Konzentration von Pestiziden ausgesetzt, da sie sich von Pflanzenresten an der Bodenoberfläche ernähren. Flachgrabende Arten leben in den oberen Bodenschichten und bewegt sich bei feuchten Wetter häufig auf der Bodenoberfläche, dabei kann es zu Verletzungen durch Rückstände von Pestiziden kommen (EDWARD & BOHLEN 1996).

#### 2.4.5 Ökologische Bewirtschaftung

Regenwurmpopulationen in ökologisch bewirtschaftete Agrarökosystemen zeichnen sich häufig durch eine höhere Abundanz und Biomasse sowie durch eine größere Artenvielfalt aus (PFIFFNER & LUKA 2002).

Die im ökologischen Landbau praktizierten sechs- bis achtjährigen Fruchtfolgen mit verschiedenen Ackerfruchtarten und die zwei- bis dreijährigen Klee graswiesen wirken sich dabei positiv auf Regenwurmpopulationen aus. Der Verzicht auf chemisch-synthetische Betriebsmittel und die Versorgung der Böden mit organischer Substanz in Form von Wurzel- und Ernterückständen sowie die Versorgung der Ackerflächen mit hofeigenem Wirtschaftsdüngern und der Verzicht auf Mineraldünger lassen die Ausbildung einer stabilen Regenwurmzönose zu (PFIFFNER & MÄDER 1997).

PAPAJA & HÜLSBERGEN (2000) haben fünf Jahre nach Umstellung auf ökologischen Landbau auf den meisten untersuchten Standorten (Acker- und Grünland) eine Zunahme der Regenwurmdichte, Biomasse und Artenzahl verzeichnen können.

Tabelle 2.7: Abundanz und Biomasse von Regenwürmern fünf Jahre nach Umstellung der Bewirtschaftung auf ökologischen Landbau (PAPAJA & HÜLSBERGEN 2000, verändert)

	Abundanz	Biomasse
<b>Ackerflächen</b>		
Zunahme in %	40.1	86.2
<b>Grünland</b>		
Zunahme in %	111.9	73.4

Die Artenzahlen der Ackerflächen betragen nach dem Untersuchungszeitraum 3 - 4 Arten, die der Grünlandstandorte 4 - 5 Arten.

Die größere Artenvielfalt zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die tiefgrabenden Arten zahlreicher vertreten sind (PFIFFNER & MÄDER 1997). Auch PAPAJA & HÜLSBERGEN (2000) konnten eine Zunahme der tiefgrabenden Art *L. terrestris* sowie das Hinzutreten der anözischen Art, *A. longa* nach der Umstellung registrieren. Als Ursache für die arten- und individuenreicheren Regenwurmpopulationen bei ökologischer Bewirtschaftung wird der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel (BAUCHHENSS 1991, PFIFFNER 1993, PAPAJA & HÜLSENBERGEN 2000) und Mineraldünger gesehen (PFIFFNER 1993).

#### **2.4.6 Vergleich von Bewirtschaftungssystemen**

Vergleicht man die ökologische und konventionelle Anbaumethode im Hinblick auf die Bodenbearbeitungs- und Ernteverfahren miteinander, so unterscheiden sich diese in der Praxis nur teilweise. In ihrer Wirkung auf die Bodenfauna sind sie daher ähnlich. Unterschiede in der Wirkung auf das Bodenleben bestehen in den vorher genannten Maßnahmen der Düngung, des Pflanzenschutzes, der Fruchtfolgegestaltung, der Begleitflora und ebenso in der Anlage von Hecken und Felddrainen (BAUCHHENSS 1991, PFIFFNER 1997).

Vergleichende Untersuchungen zu Regenwurmpopulationen verschiedener Bewirtschaftungsweisen zeigen, dass ökologisch und extensive Produktionssysteme häufig höhere Abundanzen und artenreichere Regenwurmpopulationen gegenüber konventioneller Bewirtschaftung aufweisen (Tabelle 2.8) In der folgenden Tabelle sind einige Untersuchungen dargestellt.

Tabelle 2.8: Ergebnisse von Untersuchungen der Regenwurmfauna in unterschiedlichen Anbausystemen (PFIFFNER 1997, verändert)

Autoren	Jahr	Untersuchungsdauer in Jahren	Vergleich Betriebssysteme	Abundanz	Biomasse	Artenvielfalt
BAUCHHENSS & HERR	1986	1	Biol. ↔ Konv.	▶	▶	▶
BAUCHHENSS	1991	4	Biol. ↔ Konv.	▶	▶	▶
BAUCHHENSS	1991	5	Ext. ↔ Integ.	▶	▶	
MAIDL et al.	1988	1	Biol. ↔ Integ.	▶	▶	
NECKER	1989	3	Bio-dynam. ↔ Konv.	▶	▶	Tend. ▶
PFIFFNER et al.	1993	6	Bio-dynam. ↔ Organ.-biol.	▶	▶	▶
PFIFFNER & MÄDER	1995	3	Bio.-dynam. ↔ Organ.-biol.	▶	▶	▶

(▶ : ist größer / höher als)

**(Biol., Ext., bio-dynam., organ.-biol., Konv., Integ.:** ökologische, Extensive, bio-dynamische, organisch-biologische, konventionelle, integrierte **Anbaumethode**)

## 2.5 Methoden der Regenwurmerfassung

Regenwürmer können durch **qualitative** und **quantitative** Sammelmethode erfasst werden. Zu den **qualitativen** Sammelmethode zählt beispielsweise das Auffinden epigäischer Lebensformtypen aus der Streuauflage, Komposthaufen oder durch das oberflächige Umgraben von humosen Oberboden. Auch können anözische Arten nachts nach Regen an der Bodenoberfläche von Hand aufgesammelt werden oder durch kräftiges Aufstampfen mit einem Pfahl aus dem Boden herausgetrieben werden (DUNGER & FIEDLER 1997).

Zur **quantitativen** Erfassung von Regenwurmpopulationen werden verschiedene Methoden eingesetzt. Regelmäßig angewendet werden drei Methoden, die **Handauslese** nach WILCKE (1955), die **Formalinmethode** und die **Oktettmethode** nach THIELEMANN (1986 a) (vgl. Kap. 2.5.1).

### 2.5.1 Fangmethoden

#### Handauslese

Bei der Handauslese werden Bodenproben mit einem Spaten ausgehoben. Die Fläche des Probequadrates sollte dabei nicht größer als 25 x 25 cm sein, da die wiederholte Untersuchung kleiner Flächen (25 x 25 cm) der Untersuchung großer Flächen mit 0,5 oder 1 m<sup>2</sup> deutlich überlegen ist (DANIEL et al. 1992). Der Boden kann schichtweise abgetragen werden oder als Bodenblock ausgehoben werden. Bei einem Abtrag des Bodens in Schichten von 5, 10, 20, 30 und mehr Zentimetern kann zusätzlich die Tiefenverteilung der Tiere erfasst werden (WILCKE 1955). Die Bodenproben werden auf einer Plane neben dem Probequadrat abgelegt, zerbröckelt und per Hand nach Regenwürmern durchsucht (WILCKE 1955).

Die Entnahme von Proben kann auch mit einem von A. Zisci entwickelten Bodenausstecher durchgeführt werden (25 x 25 cm Länge, 20 cm Tiefe), dessen Anwendung sich bei zu hartem Boden jedoch schwierig gestaltet (GRAFF 1983). Sollte dies der Fall sein, empfehlen DUNGER & FIEDLER (1997) einen klappbaren, transportablen Rahmen zu verwenden, welcher auf den Boden aufgelegt wird, mit einem scharfen Messer längs der Umrahmung aufgeschnitten und dann schichtweise abgetragen wird.

#### Flotation und Nasssieben

Neben der Auslese der Regenwürmer von Hand aus den Bodenproben können diese ebenfalls durch Flotation und Nasssieben aus den Bodenproben bestimmt werden. Diese Methoden werden meistens in Kombination angewendet (DUNGER & FIEDLER 1997) und eignen sich besonders für die Auslese von Kokons und sehr kleine Regenwürmer, da diese oft nur schwer durch die Handauslese erfasst werden. In der Flotationsmethode kann eine Magnesiumsulfatlösung mit einer spezifischen Dichte von 1,2 eingesetzt werden (EDWARDS & BOHLEN 1996), andere Autoren empfehlen ein Zweiphasengemisch aus Zinksulfat mit der spezifischen Dichte von 1,4 und eine Mischung aus Xylen und Tetrachlorkohlenstoff mit der spezifischen Dichte 1,2 (EDWARDS & FLETSCHER 1970 zit. nach DUNGER & FIEDLER 1997).

### Austreibung durch Wärme

Regenwürmer können auch durch Wärme aus Bodenproben ausgetrieben werden. Diese Methode eignet sich besonders für die Auslese kleiner Tiere, beispielsweise der epigäischen Formen. Zur Durchführung wird eine Bodenprobe (etwa 20 x 20 x 10 cm tief) auf ein Sieb aufgelegt, welches eine Maschenweite von 5-6 mm hat. Dieses wird in einen Behälter mit Wasser eingetaucht, wobei das Sieb einen Abstand von 5 cm zum Gefäßboden haben sollte. Dann wird die Bodenprobe von oben mit einer Lampe (600 Watt) erwärmt. Nach 3-4 Stunden sind die Tiere aus dem Boden ausgetrieben und können aus dem Wasserbad gelesen werden (EDWARDS & BOHLEN 1996, DUNGER & FIEDLER 1997).

### **Austreibung durch Chemikalien (Expellentien)**

#### **Formalinmethode**

Regenwürmer können durch die Ausbringung bestimmter Reizlösungen aus dem Boden ausgetrieben werden. Dabei wird die Probenfläche durch einen Metallrahmen oder Ring abgegrenzt. Die Probefläche sollte mindestens 25 x 25 cm groß sein, wobei 50 x 50 cm vorzuziehen sind. Die Fläche muss von Vegetation und Streu geräumt werden, bevor die Tiere durch Aufgießen der Lösung ausgetrieben werden. Als erfolgreichstes Austreibungsmittel hat sich Formalin bewährt, welches mit einer Konzentration von 0.2% ausgebracht wird. Die Aufwandmenge kann je nach Bodenart und -zustand und Verhalten der Tiere mehrere Liter betragen. Die Ausbringung erfolgt aus Gieskannen in mehreren Gaben. Die ausgetriebenen Tiere werden mit einer Pinzette von der Bodenoberfläche abgesammelt sobald sie ihre Röhre vollständig verlassen haben (DUNGER & FIEDLER 1997). Um eine toxische Wirkung der Formalinlösung auf die Tiere zu unterbinden, können diese nach dem Absammeln in ein Gefäß mit Wasser gegeben werden (STOCKFISCH 1997).

### **Austreiben durch elektrischen Strom (Oktett-Methode)**

Bei der von THIELEMANN (1986 a) entwickelten Oktett-Methode wird im Boden über acht Elektroden ein kreisförmiges elektrisches Feld erzeugt, in dessen Bereich die Tiere an die Bodenoberfläche kommen. Die Fangfläche umschließt dabei  $1/8 \text{ m}^2$ , das entspricht einem Durchmesser von 40 cm. Die Elektroden haben eine Länge von 65 cm und sind einzeln steuerbar. Wahlweise werden 2 oder 3 Elektroden mit Strom versorgt. Das ermöglicht eine Änderung der Stromflussrichtung im Boden wobei eine Rotationsbewegung in der Ausrichtung des elektrischen Feldes mit einer achtmaligen Richtungsänderung erzeugt werden kann. Der Strom wird von einem transportablen Wechselstromgenerator oder einer 12 Volt Autobatterie geliefert. Benötigt werden die Spannungen 30 V und 60 V, welche nacheinander in 1 Minuten Intervallen verschiedene Elektronenkombinationen durchlaufen. Der Fangvorgang ist beendet sobald keine Tiere mehr an die Bodenoberfläche kommen (THIELEMANN 1986 a). Da die Leitfähigkeit des Bodens von der Bodenfeuchte abhängig ist, muss der Boden ausreichend feucht sein, um das Funktionieren der Methode zu gewährleisten. Bei Trockenheit leitet der Boden den elektrischen Strom nur unzureichend und die Elektroden lassen sich schwer einstechen (HEMMANN 1994).

### **Aufbewahrung der Tiere**

MEINHARDT (1973) empfiehlt, die Tiere in Kunststoffschalen unterzubringen, welche mit gesiebter Erde (Maschenweite des Siebes 3 mm) vom Fundort gefüllt sind. Die Behälter sollen im Dunkeln oder im Halbdunklen bei  $10\text{-}15^\circ\text{C}$  stehen und die Erde sollte gleichmäßig feucht gehalten werden (MEINHARDT 1973).

## **2.5.2 Effektivität der Methoden**

Keine der in Kap. 2.5.1 aufgeführten Methoden arbeitet mit einer 100% Effektivität, jede einzelne Methode weist bestimmte Schwächen und Stärken in der Erfassung von Regenwurmpopulationen eines Standortes auf. Um eine möglichst hohe Effektivität zu erreichen empfiehlt sich eine Kombination der Methoden, wobei in der Regel die Formalin- oder Oktettmethode mit der Handauslese kombiniert wird (EHRMANN & BABEL 1991).

Vorraussetzung für das Austreiben der Tiere durch Strom wie durch Chemikalien ist, dass sich die Regenwürmer nicht in der Diapause oder Quieszenz befinden. Das heißt, dass die ermittelten Abundanzen dieser Methoden nur die Tiere erfassen, die zu diesem Zeitpunkt aktiv sind. Da die verschiedenen Ruhestadien der Regenwürmer stark von den Faktoren Bodenfeuchte und Bodentemperatur abhängen (vgl. Kap. 2.2), können die aktivitätsbezogenen Methoden nur eine hohe Effektivität erreichen, wenn die

Voraussetzungen einer optimalen Bodenfeuchte (> 16%) und Temperatur (> 7° C) erfüllt sind (KNÜSTING & BARTELS 1994).

Methodenvergleiche von EHRMANN & BABEL (1991) zeigen, dass die Elektromethode sowie die Formalinmethode Schwächen in der Erfassung endogäischer Regenwürmer, die Handauslese in der Erfassung adulter anözischer Arten aufweist (Tabelle 2.9)

Tabelle 2.9: Abundanzen (A) und Biomasse (B) verschiedener Fangmethoden bei trockenem und feuchten Boden in % (EHRMANN & BABEL 1991)

	Handauslese		Formalin- methode		Elektro- methode		Kombination Elektrom. + Handauslese	
	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>epigäische + anözische Lebensformen</b>								
trockener Boden	63	65	44	65	62	60	99	98
feuchter Boden	66	54	34	60	60	53	98	84
<b>endogäische Lebensformen</b>								
trockener Boden	78	81	6	9	33	39	100	100
feuchter Boden	79	98	18	28	43	55	100	99

Eine Kombination von der Oktettmethode mit der Handauslese ist meist günstiger, da die Elektromethode durchschnittlich effektiver arbeitet, vor der Handauslese angewendet werden kann und dadurch weniger Tiere übersehen werden und im Gegensatz zur Formalinmethode Tiere und Vegetation nicht schädigt (EHRMANN & BABEL 1991).

## 2.6 Bestimmung der Arten

Für die Bestimmung der Gattungen und Arten sind die morphologischen Merkmale des erwachsenden, d.h. des fortpflanzungsfähigen Tieres meist ausreichend (GRAFF 1983). Eine Determination der Art kann daher am lebendigen Tier erfolgen, nur in manchen Fällen ist eine Sektion erforderlich (CHRISTIAN & ZICSI 1999). Die Bestimmung der Arten erfordert Kenntnisse über die Anatomie des Tieres, insbesondere über Bau und Lage der Bestimmungsmerkmale (GRAFF 1983).

### 2.6.1 Anatomie

Bei allen Vertretern des Stammes der *Anneliden* (Ringelwürmer) ist der Körper durch Septen in Segmente geteilt. Als typisches Merkmal der Klasse der *Clitellata* (Gürtelwürmer) gilt dabei der mehrere Segmente umfassende Drüsengürtel, das Clitellum. Die Regenwürmer gehören zu den landbewohnenden Formen der *Oligochaeten*, und werden aufgrund der Lage ihrer Geschlechtsorgane zu den *Ophistopora* gezählt (vgl. Kap. 2.1.1) (PETERS & WALLDORF 1986).

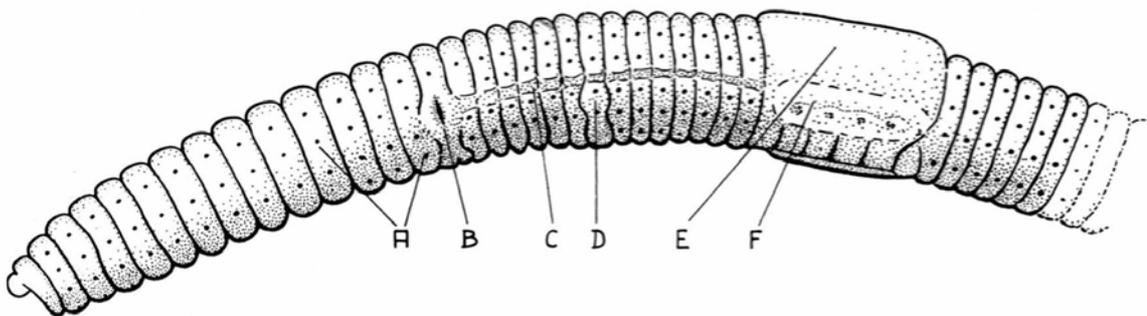


Abbildung 2.2: Äußere Bestimmungsmerkmale der Lumbriciden

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| <b>A</b> : Borsten          | <b>D</b> : Borstenpolster |
| <b>B</b> : männlicher Porus | <b>E</b> : Clitellum      |
| <b>C</b> : Samenrinne       | <b>F</b> : Pubertätswall  |

Anmerkung: Die Anordnung der Geschlechtsorgane ist bei den *Oligochaeten* recht verschieden. Bei den landbewohnenden Formen, den Regenwürmern, liegen die ursprünglich relativ weit vorne liegenden Geschlechtsöffnungen viel weiter hinter.

### **Bestimmungsmerkmale**

Die Anzahl der **Segmente** kann stark variieren. Die Arten der *Lumbricidae* bestehen aus 80-300 Segmenten. Ihr Körper ist meist drehrund und die Enden sind verjüngt. Jedes Segment, mit Ausnahme des ersten und letzten, ist mit vier **Borstenpaaren** (acht Borsten) versehen (MÜLLER 1986). Dem ersten borstenlosen Segment hängt der **Kopflappen** (*Prostomium*) an, welcher die Mundöffnung überwölbt. Die weiblichen Geschlechtsorgane liegen als unscheinbare Poren an den Seiten des 14. Segmentes. Die männlichen Geschlechtsöffnungen (männl. Porus) liegen bei fast allen Arten der *Lumbricidae* auf dem 15 Segment. Der **männliche Porus** ist meist mit einem **Drüsenhof** umgeben, welcher sich auf die Nachbarsegmente ausdehnen kann. Von dort zieht sich eine flache Rinne (Samenrinne) bis zum **Clitellum**. Das Clitellum liegt bei den Lumbriciden stets hinter den männlichen Poren, zwischen dem 20. und 40. Segment. An der Unterseite des Clitellums befinden sich bauchwärts - seitlich meist balken- oder knötchenförmige drüsige Verdickungen, die **Pupertätswälle** (*Tubercula pubertatis*). Die Färbung (Pigmentierung) der Tiere ist meist nicht artspezifisch, sie kann daher kein entscheidendes Merkmal sein, jedoch gibt sie einen deutlichen Hinweis auf die Lebensformtypen (CHRISTIAN & ZICSI 1999).

### **2.6.2 Bestimmungsmethoden**

Viele übliche Bestimmungsschlüssel setzen ein Abtöten der Tiere und eine anschließende Sektion voraus (GRAFF 1953). Da die meisten Arten jedoch aufgrund äußerer Merkmale zu bestimmen sind und die Sektion der Tiere oft Schwierigkeiten bereitet (CHRISTIAN & ZICSI 1999), bietet sich eine Lebendbestimmung der Tiere an (THIELEMANN 1986 b). Die Bestimmung nach äußeren Merkmalen kann mit dem Bestimmungsschlüssel von STRESEMANN (1992) und CHRISTIAN & ZICSI (1999) geschehen. Zahlreiche Abbildungen sind bei GRAFF (1953) zu finden und mit der Feldbestimmung von MÜLLER (1986) kann ein erstes Zuordnen der Tiere erfolgen.

Der Bestimmungsschlüssel von CHRISTIAN & ZICSI (1999) geht von den äußeren Merkmalen des Tieres aus, es werden aber auch für alle Arten die wichtigsten inneren Merkmale aufgeführt, so dass ebenfalls eine Zuordnung nach Sektion erfolgen kann.

Vorraussetzung für eine Lebendbestimmung der Tiere ist deren Ruhigstellung. Nur so können die Bestimmungsmerkmale unter der Lupe oder dem Binokular eindeutig zugeordnet werden. Mit der Glasröhrchenmethode zur Lebendbestimmung von Regenwürmern ist von THIELEMANN (1986 b) eine Methode entwickelt worden die Tiere mechanisch zu fixieren. Dazu werden diese in ein im Durchmesser passendes Röhrchen gesaugt und durch das Einschieben zweier passenden Plastikschläuche in der Glasröhre

fixiert. Durch die Verwendung von hohlen Plastikschläuchen entsteht eine Sog-Druck-Wirkung, so dass ein Eindringen von Luft in die Röhrchen verhindert wird. Durch die eingeschränkte Bewegungsmöglichkeit der Tiere können diese nun unter der Lupe oder Binokular bestimmt werden. Zur Beleuchtung sollte kaltes Licht einer Lichtfaserlampe verwendet werden, da die Tiere auf helles Licht und auf erhöhte Temperaturen sehr empfindlich reagieren (THIELEMANN 1986 b).

### 2.6.3 Artbestimmung

Die Bestimmung der Arten nach CHRISTIAN & ZICSI (1999) liegt als synoptischer Schlüssel vor. Es können 62 geschlechtsreife Arten nach äußeren Merkmalen bestimmt werden, nur in wenigen Fällen ist eine Sektion erforderlich um zur Art zu gelangen.

#### ***Bau und Funktion des Schlüssels***

Der Bestimmungsschlüssel besteht aus drei Tabellen. Je nach Stellung der Borsten und der Kopflappenform kann in eine der drei Tabelle eingestiegen werden.

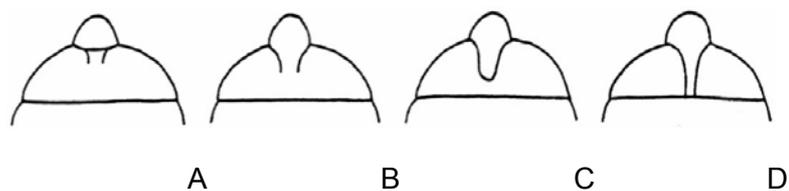


Abbildung 2.3: Kopflappenformen

**A:** proepilob

**C:** epilob  $\frac{1}{2}$  geschlossen

**B:** epilob  $\frac{1}{2}$  offen

**D:** tanylob

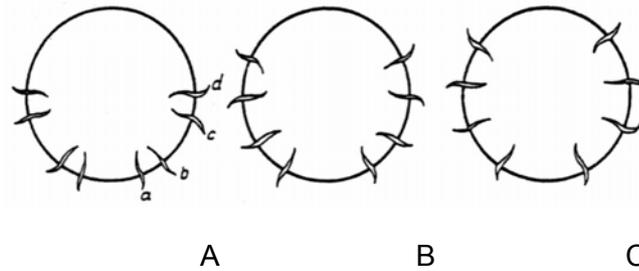


Abbildung 2.4: Borstenstellungen

A: eng gepaart

B: weit gepaart

C: ungepaart

Die weitere Zuordnung des Tieres ergibt sich aus dem synoptischen Block der Merkmalsangaben (Tabelle 2.10).

Tabelle 2.10: Bestimmungsschlüssel nach CHRISTIAN & ZICSI (1999). Beispiel für die Art *Lumbricus terrestris* L.

Borsten hinter dem Gürtel eng gepaart / Kopf tanylop										
Gürtel auf den Seg- menten Nr. von -	Pubertätsstreifen auf den Segmenten Nr. von - bis	♂Poren auf Segment Nr.; Drüsenhöfe	Rückenporus in Intersegmental- furche Nr.	Kopflappen	Körperfarbe	Samentaschen (Zahl der Paare)	Samensäcke (Segm. Nr.)	Nephridialblasen Längsmuskeln	Borstenstellung	Art
90–300 mm	33 – 36	15 ++	7/8 oder 8/9	tanylop	dunkelbraun- violett; hinten heller,	2  9, 11, 12		J-förmig  gefiedert	eng- gepaart	<i>Lumbricus terrestris</i>
31, 32 - 37										

Der Bestimmungsschlüssel nach STRESEMANN (1992) geht ebenfalls von einer ersten Einteilung des Kopflappens aus. Danach folgt eine Zuordnung des Tieres aufgrund der äußeren Merkmale (vgl. Abbildung 2.2). Nach dieser Zuordnung wird vor dem Verweis auf den Artnamen auf das Verbreitungsgebiet und Vorkommen der jeweiligen Art hingewiesen, zum Beispiel: "In Laubstreu u. feuchten Wald- u. Wiesenböden mit hohem

*Humusgehalt; gelegentlich in Baumstubben u. an der Oberfläche zwischen Gras und Moos. Häufig".*

**Lumbricus castaneus SAVIGNY**

Die Artbestimmung nach GRAFF (1953) erfasst in einem ersten Schritt die Farbe des Tieres, bzw. stellt fest, ob das Tier rotes Farbpigment besitzt oder nicht. Danach wird das Tier mit 70% Alkohol und Zugabe von 5-10 % Formalin abgetötet. Das Formalin bewirkt eine rasche Härtung des Wurmkörpers, so dass nach ca. 10 Minuten mit der Artenbestimmung begonnen werden kann, welche sich ebenfalls auf die äußeren Merkmale des Tieres bezieht (GRAFF 1953).

### 3 Material und Methode

#### 3.1 Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof

##### 3.1.1 Standort

Als Versuchsstandort diente der *Lehr- und Versuchsbetrieb für ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Giessen, Gladbacherhof*, im Kreis Limburg - Weilburg. Der Gladbacherhof ist ca. 17 km östlich von Limburg an den nordwestlichen Ausläufern des Taunus gelegen, bei einer Höhenlage von 140 bis 300 m. ü. NN. Bodentypen sind vorwiegend Parabraunerden, aber auch erodierte Parabraunerden, Pararendzinen, Pseudogleye, Gleye, Ranker-Braunerden und Kolluvien am Hangfuß. Als Bodenart überwiegt lehmiger Schluff bis toniger Lehm, die mittlere Ackerzahl ist 63 (40-80).

##### 3.1.2 Klima

Die langjährige mittlere Jahresniederschlagsmenge liegt 682 mm, die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur bei 9,3 °Celsius. Ein Vergleich der langjährigen Durchschnittswerte mit den Temperatur- und Niederschlagsdaten der **Jahre 1999, 2000** und **2001** sind den Klimadiagrammen in Abbildung 3.1 zu entnehmen.

Die mittlere Temperatur des Jahres **1999** betrug 9,3 °Celsius. Die Niederschlagssumme lag bei 580,5 mm. Der Sommer 1999 war bis auf den Monat Juli durch geringe Niederschläge gekennzeichnet. Der Winter 1999/2000 war relativ mild, mit durchschnittlichen Temperaturen.

Die mittlere Temperatur des Jahres **2000** betrug 10, 0 °Celsius. Die Niederschlagsmenge lag 670,6 mm. Verglichen mit dem langjährigen Mittel war der Witterungsverlauf des Jahres 2000 bis Juni durch relativ hohe Temperaturen und geringe Niederschläge gekennzeichnet. Der Juli war kühl mit hohen Niederschlägen, die bis September über dem langjährigen Mittel lagen.

Der **Winter 2000/2001** war mild, mit hohen Niederschlägen von Februar bis April 2001. Im April lagen die Temperaturen unter dem langjährigen Mittel, im Mai darüber.

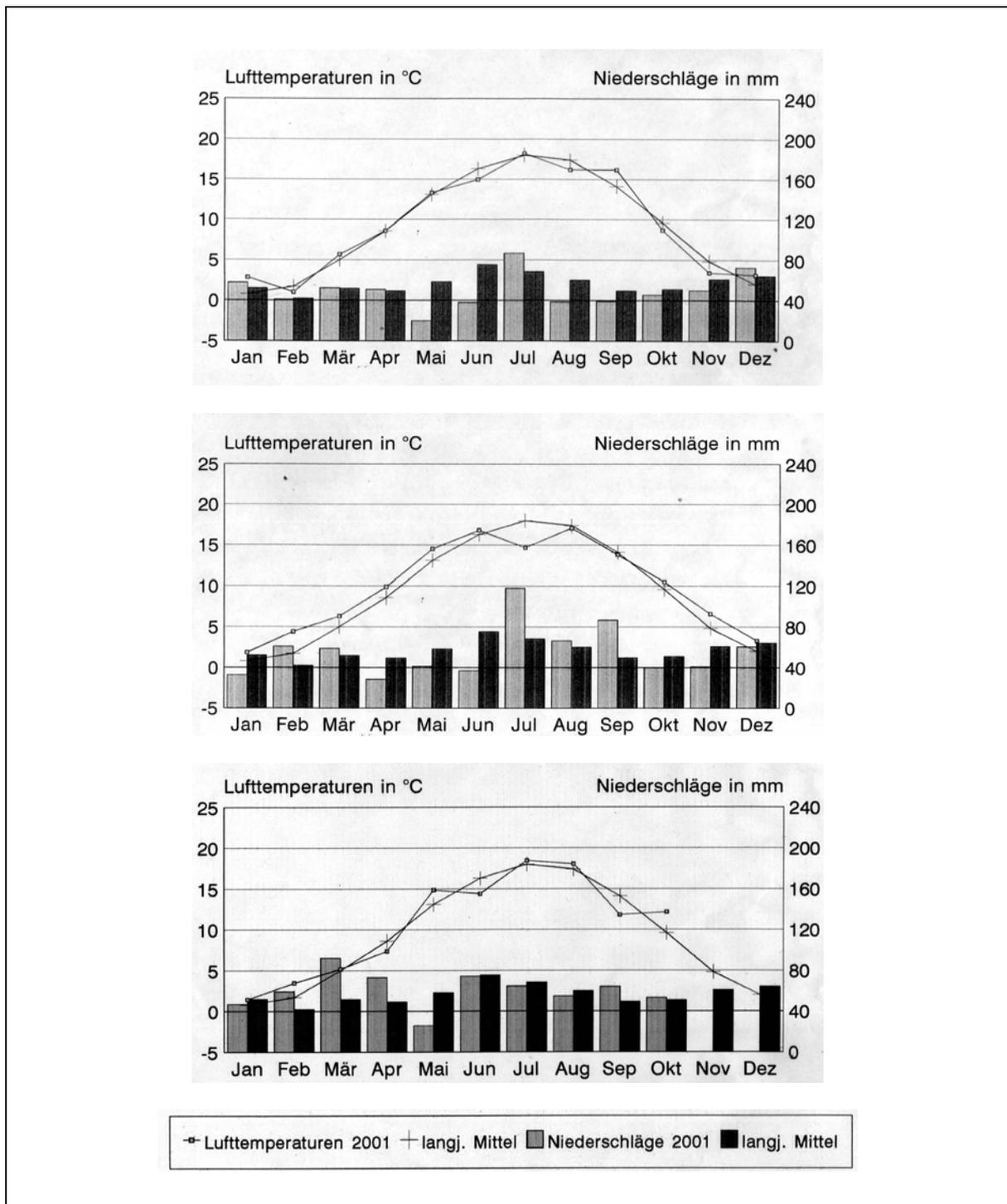


Abbildung 3.1: Vergleich der Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) in den Jahren 1999 bis 2001 (Wetterstation Gladbacherhof) mit dem langjährigen Mittelwerten (1961–1990) (Klimastation Limburg/Lahn-Offheim)

### 3.1.3 Bewirtschaftung

Die Hessische Staatsdomäne Gladbacherhof ist seit 1989 **Lehr- und Versuchsbetrieb für ökologischen Landbau** der Justus-Liebig-Universität Giessen. Die Umstellung des Betriebes auf eine organisch-biologische Wirtschaftsweise erfolgte bereits 1983, die Zugehörigkeit zum BIOLAND Verband besteht seit 1989.

Tabelle 3.1: Betriebsfläche des Gladbacherhofs. Betriebsspiegel - Stand Mai 2001

Bodennutzung	Gladbacherhof	Pachtung	Gesamt
Landw. Fläche	85,35 ha	69,42 ha	154,77 ha
Ackerland	60,00 ha	40,86 ha	100,86 ha
Dauergrünland	25,35 ha	28,56 ha	53,91 ha
Forstflächen	4,81 ha		
sonstige Flächen	0,60 ha		
Hofflächen	1,82 ha		
<b>Gesamtfläche</b>	<b>92,58 ha</b>	<b>69,42 ha</b>	<b>162,00 ha</b>

Aus Tabelle 3.1 geht die Nutzung der Betriebsfläche hervor. Die Betriebgröße umfasst 154,77 ha landwirtschaftliche Fläche, davon sind 100,86 ha Ackerfläche und 53,91 ha Grünland. Die zugepachtete Fläche umfasst 69,42 ha.

### Fruchtfolge

Der Gladbacherhof wirtschaftet seit 1994 mit einer achtegliedrigen Fruchtfolge (Tabelle 3.2). Nur wenige Schläge (ca. 6 ha) werden ohne eine feste Fruchtfolge bewirtschaftet.

Tabelle 3.2: Die achtegliedrige Fruchtfolgegestaltung des Gladbacherhofs

1.	Luzernegras bzw. Klee gras
2.	Luzernegras bzw. Klee gras
3.	Winterweizenvermehrung ( <i>Zwischenfrucht</i> )
4.	Hackfrucht: Mais, Kartoffeln
5.	Wintergetreide: überwiegend Roggenvermehrung ( <i>Zwischenfrucht</i> )
6.	Ackerbohnen, Erbsen ( <i>Untersaat oder Zwischenfrucht</i> )
7.	Wintergetreide: überwiegend Dinkelvermehrung ( <i>Zwischenfrucht</i> )
8.	Sommergetreide/Luzernegras- bzw. Rotklee grasuntersaat (oder GPS mit US)

### Nutzung des Ackerlandes

Anbauschwerpunkte sind die Saatguterzeugung im Getreide- und im Leguminosenanbau sowie die Pflanzgutvermehrung von Kartoffeln. Der Ackerfutterbau wird in Form von Klee gras, Luzernegras, Mais und GPS abgedeckt.

Das Anbauverhältnis der gesamten Ackerfläche umfasst Getreide (37,1 %), Körnerleguminosen (10,0 %), Kartoffeln (4,8 %) und Ackerfutter (39,6 %). Ein Anteil von 8,4 % der gesamten Ackerfläche werden als Versuchsfläche genutzt oder sind stillgelegt (Stand Mai 2001).

### Viehbesatz

Auf dem Gladbacherhof werden 60 Milchkühen mit eigener Nachzucht gehalten (durchschnittlichen Milchleistung: 7018 kg Milch, 4,17 % Fett, 3,19 % Eiweiß). In den Sommermonaten werden 10 Schweine gemästet, zudem werden 100 Hühner und 2 Esel gehalten. Der Viehbestand auf dem Gladbacherhof umfasst ca. 106 Großvieheinheiten, das entspricht einem Viehbesatz von 0,68 GV/ha LN (Stand Mai 2001).

Der anfallende Wirtschaftsdünger Mist und Gülle/Jauche wird in folgenden Mengen auf Acker- und Grünland verteilt (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Menge (dt/ha) und Art (Gülle/Jauche und Rottemist) der organischen Düngung auf Acker- und Grünland für das Erntejahr 1999

	<b>gesamte ausgebrachte Menge (dt)</b>	<b>durchschnittlich ausgebrachte Menge (dt/ha)</b>	<b>Anteil in %</b>
<b>Gülle/Jauche</b>	6.117	104	100
davon auf Ackerland	3.730	103	61
davon auf Grünland	2.387	106	39
<b>Rottemist</b>	9.258	150	100
davon Ackerland	7.680	157	83
davon auf Grünland	1.578	124	17

Im Jahr 1999 wurden insgesamt 6.117 dt Gülle/Jauche ausgebracht. Davon wurde ein Anteil von 61 % (3.730 dt) auf Ackerland und 39 % (2.387 dt) auf Grünland ausgebracht. Die durchschnittlich ausgebrachte Menge entsprach 104 dt/ha. Rottemist wurde mit einer durchschnittlich ausgebrachten Menge von 150 dt/ha auf Acker- und Grünland verteilt. Insgesamt wurden 9.258 dt Mist ausgebracht.

### 3.2 Untersuchungsflächen und Durchführung der Analysen

Die Untersuchungstermine zur Regenwurmerfassung lagen im Frühling und im Herbst 2001. Als Basisuntersuchung wurden im Frühjahr acht Dauertestflächen (Ackerschläge) beprobt, wobei pro Ackerstandort mit jeweils acht Wiederholungen gearbeitet wurde. Als Begleituntersuchungen wurden die Standorte Wald, Wiese und Ackerrain einbezogen (Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Termine, Stichprobenumfang und Wiederholungen der Probenahmen im Frühjahr und Herbst 2001

	11.o5.	12.o5.	13.o5.	o3.o6.	o4.o6	o5.1o.
<b>Eisensteinfeld 2</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Schöne Aussicht</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Langes Gewann 2</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Kreuz</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Langes Gewann 1</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Eisensteinfeld 1</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Über der Koppel</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Ofenloch</b>	2	3	3	0	0	0
<b>Wiese</b>	0	0	0	4	4	0
<b>Wald</b>	0	0	0	4	4	0
<b>Rain-Feldmitte</b>	0	0	0	10	10	15

(Die Zahlen stehen für die Anzahl der Wiederholungen (n))

#### 3.2.1 Dauertestflächen

Als Versuchsflächen der Basisuntersuchung dienten die Dauertestflächen des Gladbacherhofes. Diese wurden im Jahr 1999 auf acht verschiedenen Schlägen, in einer jeweils standorttypischen Lage, eingerichtet. Die acht Testflächen orientieren sich an der achtfeldrigen Fruchtfolge des Betriebes (Tabelle 3.5) und sollen diesen im Kleinstmaßstab repräsentieren. Mit GPS punktgenau eingemessen umfassen sie eine Größe von 10 x 10 Metern (Abbildung 3.2).

Abbildung 3.2: Anbauflächen und Lage der Dauertestflächen des Gladbacherhofs sowie die Orte der Probenahme in Wald und Wiese



gelb: Ackerland	grün: Grünland	rot: Dauertestflächen
A: Wiesenstandort	B: Waldstandort	

In Abbildung 3.2 kennzeichnen die gelben Flächen die Anbauflächen, die roten Flächen stellen die Dauertestflächen dar. Jeweiliger Standort der Probennahme in Wiese und Wald ist mit A und B gekennzeichnet.

Aus Tabelle 3.5 gehen Schlaggrößen (ha) und Bodentypen der Ackerflächen mit Dauertestflächen hervor.

Tabelle 3.5: Schlagnamen, Schlaggrößen (ha) und Bodentypen der Dauertestflächen

Schlagname	Bodentyp	Schlaggröße (ha)
Eisensteinfeld 2	Pararendzina	4,7
Schöne Aussicht	erodierte Parabraunerde	3,3
Langes Gewann 2	erodierte Parabraunerde	2,5
Kreuz	erodierte Parabraunerde	5,3
Langes Gewann 1	Pararendzina	1,53 + 0,8
Eisensteinfeld 1	Pararendzina	4,4
Über der Koppel	erodierte Parabraunerde	5,0
Ofenloch 2	erodierte Parabraunerde	4,9

Die Regenwurmuntersuchungen fanden nicht direkt in den eingemessenen Dauertestflächen statt, sondern in ihrer unmittelbaren Umgebung. Nach PAPAJA und HÜLSBERGEN (2000) besitzen die Bodenuntersuchungsergebnisse in unmittelbarer Nähe der Testflächen *"...orientierenden Charakter für die Interpretation der Regenwurmanalysen"*. Um diesem Aspekt gerecht zu werden, wurde eine parallele Fläche mit dem Zollstock abgemessen, um dort die Regenwurmerfassung durchzuführen. Begleituntersuchungen fanden in einer Wiese und in einem angrenzenden Waldgebiet statt (Abbildung 3.2). Der Baumbestand des Waldes setzte sich in der beprobten Umgebung aus der Genera *Quercus L.* (Eiche) und *Fagus sylvatica* (Buche) zusammen.

### 3.2.2 Regenwurmfang

Zur Erfassung der Regenwurmpopulation wurde die Methode der Handauslese genutzt (WILCKE 1955). Beprobte wurde jeweils das Volumina des Bodens bei einer Grundfläche von 1/10 Quadratmeter und einer Tiefe von 50 cm. Diese Beprobung wird als eine Stichprobe bezeichnet.

**Materialien:** 2 Spaten, 1 Mörtelwanne (1200 Liter), 1 Plastikplane, Verpackungsbecher (250 ccm klar, Firma Pap\*Star), 1 Kühltasche, 1 Eimer, 1 Folienstift (wasserfest), 1 Handschaufel, 1 Zollstock.

Der Regenwurmfang erfolgte ohne ein vorheriges Entfernen der Vegetation, um damit verbundene Boden-Erschütterungen und die darauffolgende "Flucht" der Regenwürmer zu vermeiden. Dazu wurde von zwei entgegengesetzten Seiten gleichzeitig mit einem Spaten eingestochen, so dass an den meisten Probestellen ganze "Bodenblöcke" ausgehoben werden konnten. Das absichtliche schnelle Ausheben des Bodens sollte einem Entkommen der Tiere in tiefere Bodenschichten entgegenwirken. Nachgegraben wurde bis in eine Tiefe von 50 cm. Für den ausgehobenen Boden stand eine Mörtelwanne

zur Verfügung, aus der dann per Handauslese die Regenwürmer aussortiert wurden. Ganze "*Bodenklumpen*" wurden über einer Plastikplane mit der Hand zerbröckelt oder mit der Handschaufel zerteilt und nach Regenwürmern durchsucht. Die gefangenen Regenwürmer kamen zur Aufbewahrung, unter Zugabe von Boden und Pflanzenmaterial der Probestelle, in atmungsaktive Verpackungsbecher. Um die Tiere vor zu hohen Temperaturen und der Sonneneinstrahlung zu schützen, wurden die Becher in einer Kühltasche verwahrt.

Der zeitliche Aufwand für die Beprobung hing stark von Bodenart und –zustand sowie von Bewuchs und Durchwurzelung ab. Für drei aufeinanderfolgende Wiederholungen auf jeweils einem Schlag konnte ein Zeitbedarf von 45 bis zu 110 Minuten ermittelt werden.

### **3.3 Methodik der Regenwurmbestimmung**

Die Erfassung der Abundanz und Biomasse sowie die Artenbestimmung wurden im Labor der Professur für Organischen Landbau an der Justus-Liebig-Universität in Giessen durchgeführt.

#### **3.3.1 Abundanz und Biomasse**

Die Bestimmung der Abundanz und Biomasse erfolgte für jede Stichprobe einzeln. Dazu wurde der Becherinhalt (Boden + Tiere) in eine Schüssel überführt und ausgebreitet. Die Tiere wurden nacheinander herausgesammelt und in klarem Wasser gespült.

Der Versuch, die Bodenrobe durch ein Sieb zu spülen (Nasssieben) erwies sich als nicht zweckmäßig. Durch den Kontakt mit Wasser wurde die Kriechperistaltik der Tiere so stark angeregt, dass sich die Tiere durch die Maschen (Maschenweite 2 mm) hindurchschoben oder die Möglichkeit einer schnellen Flucht über den glatten Rand des Siebes oder den Auffangteller unterhalb des Siebes in Anspruch nahmen.

Nach dem Spülen wurden die Tiere kurz auf Filterpapier getrocknet und dann in ein Becherglas (250 ml) gegeben. Anschließend erfolgte die Wägung der Tiere mit einer Präzisionswaage (Firma Sartorius). Nach der Wägung erfolgt die Determination der Tiere nach Entwicklungsstadium (adulte und juvenile Individuen). Dabei wurden Tiere mit einem ausgebildeten Clitellum dem adulten Stadium, Tiere ohne sichtbaren Clitellum, dem juvenilen Stadium zugeordnet. Getrennt nach juvenilen und adulten Entwicklungsstadien wurde wiederholt die Biomasse der Tiere bestimmt.

Nach der Wägung wurde die Individuenanzahl festgehalten, auch hier wurde eine Einteilung nach juvenilen und adulten Regenwürmer vorgenommen.

### **3.3.2 Artbestimmung**

Die Zuordnung der Regenwurmart erfolgte am lebendigen Tier. Anwendung fand die Glasröhrchenmethode zu Lebendbestimmung von THIELEMANN (1986 b). Adulte Tiere wurden bis zur Art bestimmt, juvenile Tiere konnten bis auf wenige Ausnahmen keiner Art zugeordnet werden.

Die Artbestimmung wurde nach STRESEMANN et al. (1992) und CHRISTIAN & ZICSI (1999) realisiert. Zusätzlich wurden die Abbildungen der Arten von GRAFF (1953) verwendet. Die Einteilung in die ökologischen Gruppen erfolgte nach BOUCHÉ (1977), die Nomenklatur nach STRESEMANN et al. (1992).

### **3.4 Begleituntersuchungen**

#### **Bodenkennwerte**

##### Bodenfeuchte

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte am ersten Tag der Basisuntersuchungen (11.05.2001) in acht Testflächen. Mittels eines Bohrstocksets (Firma Stitz, Hannover) wurden pro Fläche jeweils zwei Bodenproben (Tiefe 0-30 cm) gezogen. Der Boden wurde bei 105°C getrocknet. Die Bodenfeuchte (Masse in %) wurde als Mittelwert berechnet.

##### Bodentemperatur

Die Erfassung der Bodentemperaturen erfolgte zentral an der Wetterstation Gladbacherhof. Eine stündliche Messung erfasst die Bodentemperatur für die Bodentiefen 5 cm, 20 cm und 50 cm sowie die Lufttemperaturen in °Celsius.

Die Berechnung der Stundenwerte zu Tageswerten wurden laut Konventionen mit folgenden Formeln berechnet:

Bodentemperatur:	$(B_7 + B_{14} + B_{21}) : 3$
Lufttemperatur:	$(B_7 + B_{14} + 2 \times B_{21}) : 4$

#### pH-Wert

Die Bestimmung des pH-Wertes wurde nach HOFFMANN (1991) durchgeführt. 10 g mineralischer Feinboden (Mischprobe aus 4 Wdh., 0-30 cm Tiefe) wurden in CaCl<sub>2</sub>-Lösung (0,01 mol/l) mittels Glaselektrode und einem WTW-Anzeigerät Typ pH 96 gemessen.

### **3.5 Statistische Auswertung**

Die aus den acht Wiederholungen (Stichproben) ermittelte Individuendichte (Abundanz) und Biomasse der Regenwürmer eines Ackerstandortes (Dauertestfläche) wurde summiert und für die Grundfläche von einem Quadratmeter berechnet. Da aus den einzelnen Stichproben (Wiederholungen) hohe Standartabweichungen resultieren, ist eine Mittelwertbildung aus den acht Wiederholungen nicht zulässig.

Zur deskriptiven statistischen Auswertung gehäufte Daten wurde eine Kreuztabelle (Fläche x Arten, SPSS) erstellt (Tabelle A 2).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Bodenkennwerte und Bewirtschaftung der Dauertestflächen

#### Bodenkennwerte

Tabelle 4.1: Bodenfeuchte (Masse in %), Bodentemperatur (°Celsius) und pH-Werte der Dauertestflächen

Dauertestflächen (Schlagbezeichnung )	Boden- feuchte (Masse in %)	Bodentemperatur ( °C )			pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )
		5 cm	20 cm	50cm	
Eisensteinfeld 2	15,82	<b>17,36</b>	<b>15,62</b>	<b>13,29</b>	7,54
Schöne Aussicht	15,38				6,38
Langes Gewann 2	16,23				6,23
Kreuz	19,23				6,75
Langes Gewann 1	14,98				7,63
Eisensteinfeld 1	17,24				7,65
Über der Koppel	18,10				6,63
Ofenloch 2	19,10				6,00

(Für die Bodentemperaturen werden die durchschnittlichen Temperaturen (°Celsius) während der Basisuntersuchungen vom 11.05. – 13.05. 2001 angegeben. Hierbei handelt es sich um zentrale Messwerte.)

In Tabelle 4.1 sind die Messwerte der Bodenfeuchte und Bodentemperatur der Dauertestflächen für den Zeitraum der Probenahme, sowie die pH-Werte dargestellt. Der Bodenwassergehalt lag während der Probenahme zwischen 14,9 % und 19,1 %. Für die Bodentemperaturen wurden mittlere Tageswerte von 17,36 °Celsius (5 cm Tiefe), 15,62 °Celsius (20 cm Tiefe) und 13,29 °Celsius (50 cm Tiefe) gemessen. Der pH-Wert variiert in Bereichen von pH 6,0 bis pH 7,6.

#### Bewirtschaftung

Einen Überblick der Bewirtschaftungsmaßnahmen über die Grundbodenbearbeitung, Wirtschaftsdüngerausbringung und die Vorfrüchte der Jahre 1999 und 2000 der Dauertestflächen gibt Tabelle 4.2. In Kap. 4.3 werden diese Maßnahmen für jeden Ackerstandort in einer zeitlichen Abfolge dargestellt.

Tabelle 4.2: Früchte 1999 – 2001, letzte Grundbodenbearbeitung und die letzte Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf den Dauertestflächen vor dem Regenwurmfang (2001)

	Vorfrucht		Frucht	letzte Grund- bodenbearbeitung	letzte Ausbringung Wirtschaftsdünger		Mineraldünger Gafsa 27 %
	1999	2000	2001		Mist	Gülle	
<b>Eisenfeld 2</b>	Wechselweizen	GPS (SW+Erbsen)	LKG 1. Jahr	15.11.99	26.11.98		19.01.01
<b>Schöne Aussicht</b>	GPS (SW+Erbsen)	LKG 1. Jahr	LKG 2. Jahr	21.11.98	29.08.98		19.01.01
<b>Langes Gewann 2</b>	LKG 1. Jahr	LKG 2. Jahr	Winterweizen	11.12.00	09.05.01		
<b>Kreuz</b>	LKG 2. Jahr	Winterweizen	Silomais	29.01.01	29.08.00	21.12.00	27.01.00
<b>Langes Gewann 1</b>	Winterweizen	Kartoffeln	Winterroggen	03.10.00	05.04.01		
<b>Eisensteinfeld 1</b>	Winterroggen	Silomais	Erbsen	12.01.01	29.12..00		
<b>Über der Koppel</b>	Winterroggen	Erbsen	Dinkel	26.10.00	17.01.01	11.09.00	
<b>Ofenloch</b>	Erbsen	Dinkel	GPS (SW+Erbsen)	12.01.01	24.01.00		31.08.00

## 4.2 Regenwurmpopulationen in den Dauertestflächen

### 4.2.1 Abundanz und Biomasse

In Abbildung 4.1 sind die in den Böden der acht Dauertestflächen ermittelten Regenwurmabundanz und Regenwurmbiomassen dargestellt.

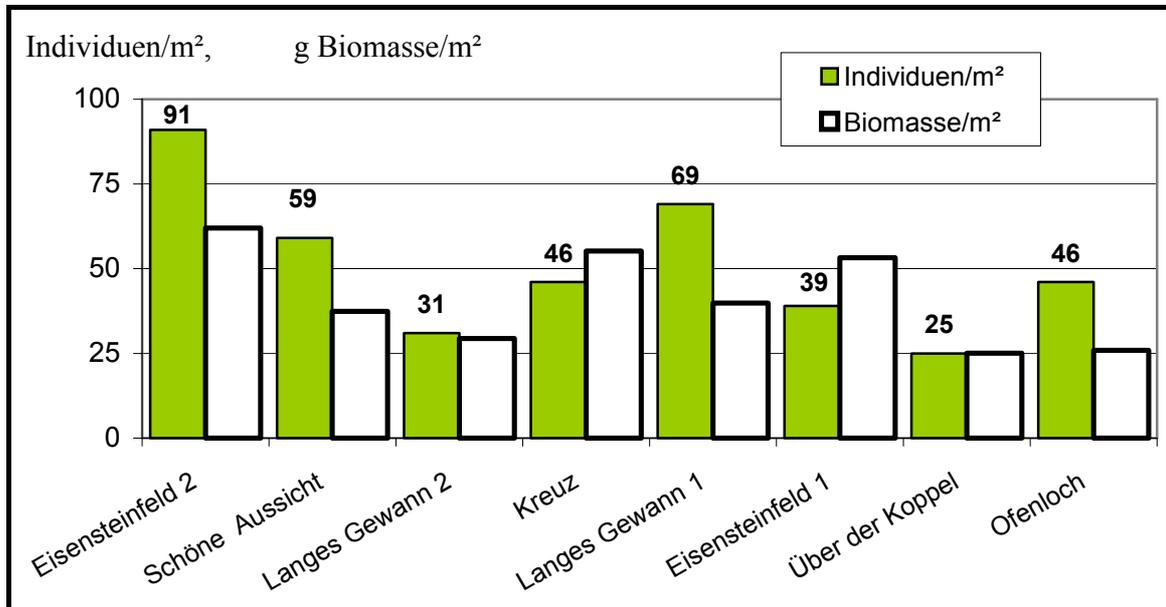


Abbildung 4.1: Regenwurmabundanz (Individuen/m<sup>2</sup>) und Regenwurmbiomasse (g/m<sup>2</sup>) in den Böden der Dauertestflächen

Aus Abbildung 4.1 geht hervor, dass die höchste Individuendichte mit 91 Ind./m<sup>2</sup> in Eisensteinfeld 2 gezählt wurde. Die zweithöchste Abundanz wurde in dem Ackerstandort Langes Gewann 1 mit 69 Ind./m<sup>2</sup> ermittelt. Mit 59 Ind./m<sup>2</sup> war Schöne Aussicht der Standort mit dem dritthöchsten Wert für die Abundanz. Es folgten die Standorte Kreuz und Ofenloch mit jeweils 46 Ind./m<sup>2</sup>. Die niedrigste Abundanz betrug 25 Ind./m<sup>2</sup>. Diese wurde in dem Ackerstandort Über der Koppel ermittelt.

Die höchste Biomasse konnte mit 62 g/m<sup>2</sup> für Eisensteinfeld 2 ermittelt werden. Die Standorte Kreuz und Eisensteinfeld 1 wiesen mit 55,2 g/m<sup>2</sup> und 53,19 g/m<sup>2</sup> ebenfalls hohe Werte in der Biomasse auf. Die geringste Biomasse wurde mit 25 g/m<sup>2</sup> in den Ackerstandorten Über der Koppel und Ofenloch ermittelt.

Für die acht Ackerstandorte (Dauertestflächen) ließen sich **durchschnittliche Abundanzen von 51 Individuen/m<sup>2</sup>** mit einer **Biomasse von 41 g/m<sup>2</sup>** nachweisen.

Aus Abbildung 4.2 geht die Abundanz der juvenilen und adulten Tiere, sowie deren Biomasse in den acht Ackerstandorten (Dauertestflächen) hervor (Tabelle A 1).

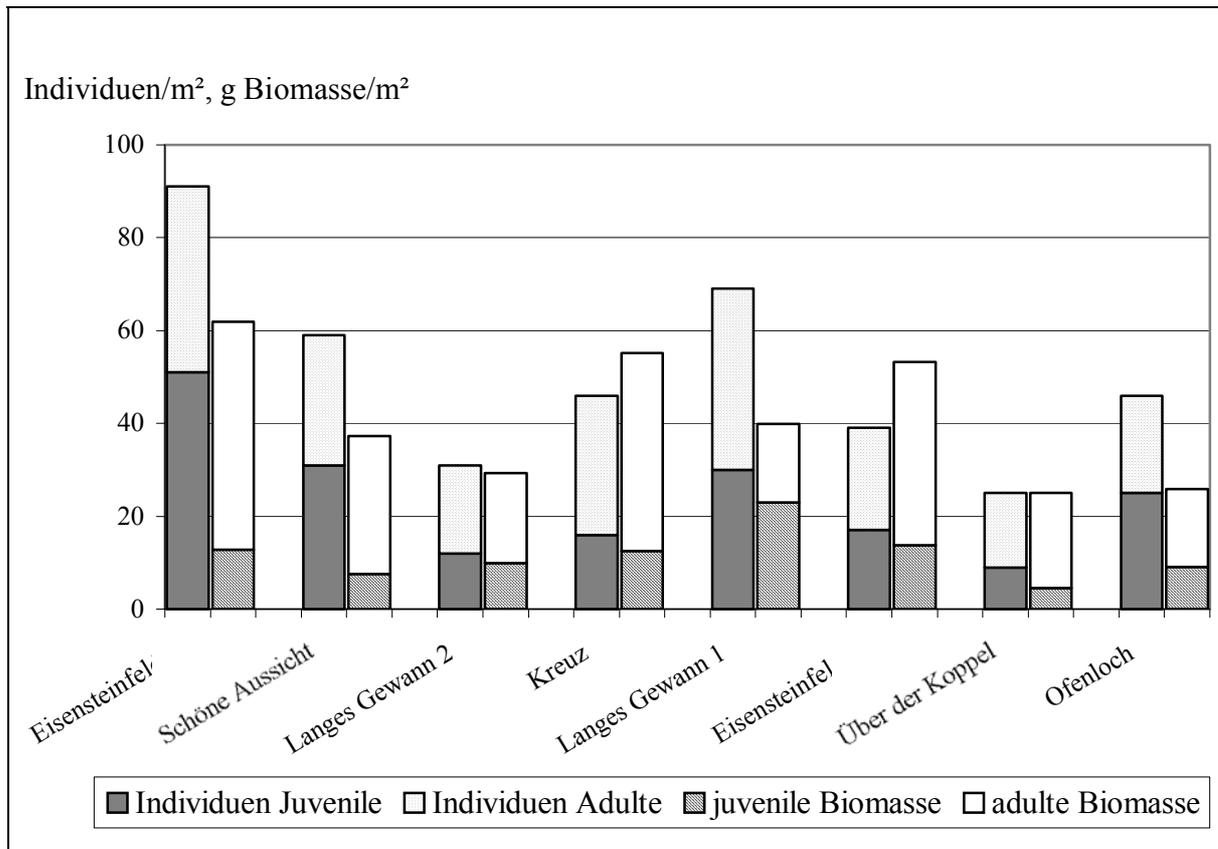


Abbildung 4.2: Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>) und Biomasse (g/m<sup>2</sup>) juveniler und adulten Tiere in den Böden der Dauertestflächen

Abbildung 4.2 zeigt den Anteil juveniler und adulten Individuen und deren Biomasse in den verschiedenen Standorten. Juvenile Tiere machten im Durchschnitt 47 % der gesamten Population eines Standortes aus. Die adulten Vertreter waren im Mittel mit 53 % vertreten. Für die **juvenilen** Tiere ließen sich durchschnittlichen Abundanzen von 24 Individuen/m<sup>2</sup> mit einer Biomasse von 11,6 g/m<sup>2</sup> berechnen. Für die **adulten** Tiere wurden durchschnittliche Abundanzen von 27 Individuen/m<sup>2</sup> mit einer mittleren Biomasse von 29,3 g/m<sup>2</sup> ermittelt. Wird die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) durch die Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>) dividiert, ergibt sich das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Für die juvenilen Tiere ergab sich ein durchschnittliches Einzelwurmgewichte von 0,49 g/Ind.. Das Einzelwurmgewicht der adulten Tiere lag bei 1,09 g/Ind..

#### 4.2.2 Artenspektrum

Während der Basisuntersuchungen konnten insgesamt folgende 9 Regenwurmart in den Ackerstandorten (Dauertestflächen) gefunden werden.

**Epigäische Arten:**

*Lumbricus rubellus* HOFFMEISTER

*Lumbricus castaneus* SAVIGNY

**Endogäische Arten:**

*Aporrectodea [Allolobophora] caliginosa* SAVIGNY

*Aporrectodea [Allolobophora] icterica* SAVIGNY

*Aporrectodea [Allolobophora] rosea* SAVIGNY

*Allolobophora chlorotica* SAVIGNY

*Octolasion lacteum* OERLEY

**Anözische Arten:**

*Lumbricus terrestris* LINNÉ [L. herculeus (SAVIGNY)]

*Aporrectodea [Allolobophora] longa* UDE

### 4.2.3 Artenhäufigkeit

Für die in den Böden der Dauertestflächen gefundenen neun Arten wurde die prozentuale Häufigkeit ihres Vorkommens ermittelt (Tabelle A 2). Als Grundgesamtheit gehen alle adulten, bis zur Art bestimmten Tiere (215 Individuen) der acht Dauertestflächen ein (Abbildung 4.3).

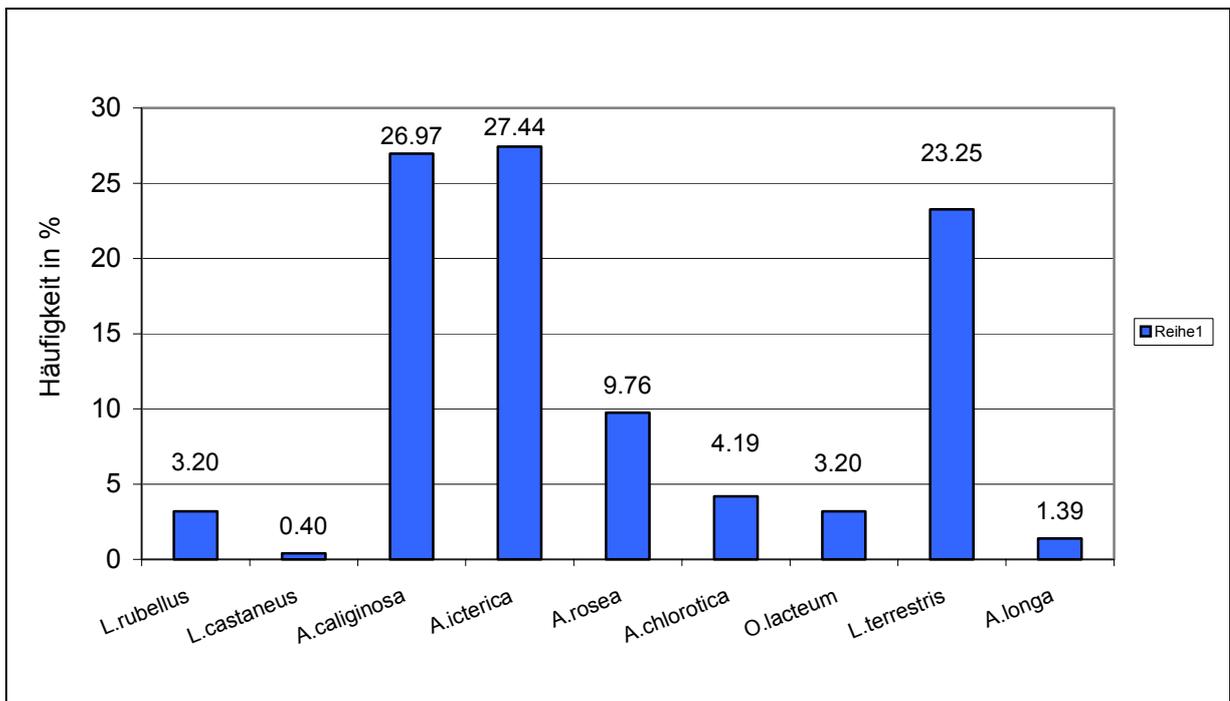


Abbildung 4.3: Häufigkeit des Vorkommens der Arten in Prozent.

Aus Abbildung 4.3 geht die prozentuale Häufigkeit des Vorkommens der Arten hervor. Die Arten, die am häufigsten in den Dauertesflächen angetroffen wurden, sind die endogäische Art ***Aporrectodea ictERICA*** mit **27,44 %** (59 Individuen) und ***Aporrectodea caliginosa*** mit **26,97 %** (58 Individuen). Die anözische Art ***Lumbricus terrestris*** ist mit **23,25 %** (50 Individuen) die dritthäufigste Art.

*A. rosea* trat mit einer Häufigkeit von 9,76 % (21 Individuen) und *A. chlorotica* mit 4,19 (9 Individuen) auf. *O. lacteum* und *O. rubellus* erreichten einen Anteil von jeweils 3,2 % (7 Individuen). *A. longa* war mit 1,39 % (3 Individuen) vertreten und den geringsten Anteil hatte die epigäische Art *L. castaneus* mit einer Häufigkeit von 0,4 % (1 Individuum).

#### 4.2.4 Vorkommen und Verteilung der Arten in den Böden der Dauertestflächen

Das prozentuale Vorkommen der verschiedenen Lebensformtypen (Arten) und deren Verteilung in den Böden der einzelnen Dauertestflächen geht aus Tabelle 4.3 hervor. Errechnet wurde die Häufigkeit (%) des Vorkommens der verschiedenen Arten in den jeweiligen Habitaten (Tabelle A 1).

Tabelle 4.3: Prozentuale Verteilung der ökologischen Gruppen (Arten) in den Böden der acht Dauertestflächen.

Lebensformtyp	epigäisch		endogäisch					anözisch	
	Lumbricus rubellus	Lumbricus Castaneus	Aporrectoda caliginosa	Aporrectoda ictERICA	Aporrectoda rosea	Allolobopha chlorotica	Octolasion lacteum	Lumbricus terrestris	Aporrectoda longa
Eisensteinfeld 2	-	-	-	20	91	-	-	18	-
Schöne Aussicht	100	100	7	9	9	22	-	14	-
Langes Gewann 2	-	-	21	-	-	-	100	-	-
Kreuz	-	-	-	17	-	-	-	34	100
Langes Gewann 1	-	-	22	11	-	78	-	24	-
Eisensteinfeld 1	-	-	22	12	-	-	-	4	-
Über der Koppel	-	-	16	12	-	-	-	-	-
Ofenloch	-	-	12	19	-	-	-	6	-
<b>Gesamt %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Als Vertreter der **epigäischen** Lebensform traten *L. rubellus* und *L. castaneus* auf. Die zwei Spezies waren jeweils in nur einem Habitat vertreten. Die **endogäischen** Arten stellen mit fünf Arten die häufigste Lebensform in den Ackerstandorten dar. Die endogäischen Arten *A. caliginosa* und *A. ictERICA* waren in fast allen Habitaten vertreten. *A. rosea* und *A. chlorotica* kamen in nur zwei Habitaten vor und *O. lacteum* konnte in einem Habitat bonitiert werden. Häufigste **anözische** Form war *L. terrestris*. Als eine weitere anözische Art trat *A. longa* hinzu.

#### 4.2.5 Dominanzstrukturen

Abbildung 4.4 zeigt die Individuendominanz der Arten in den einzelnen Ackerstandorten.

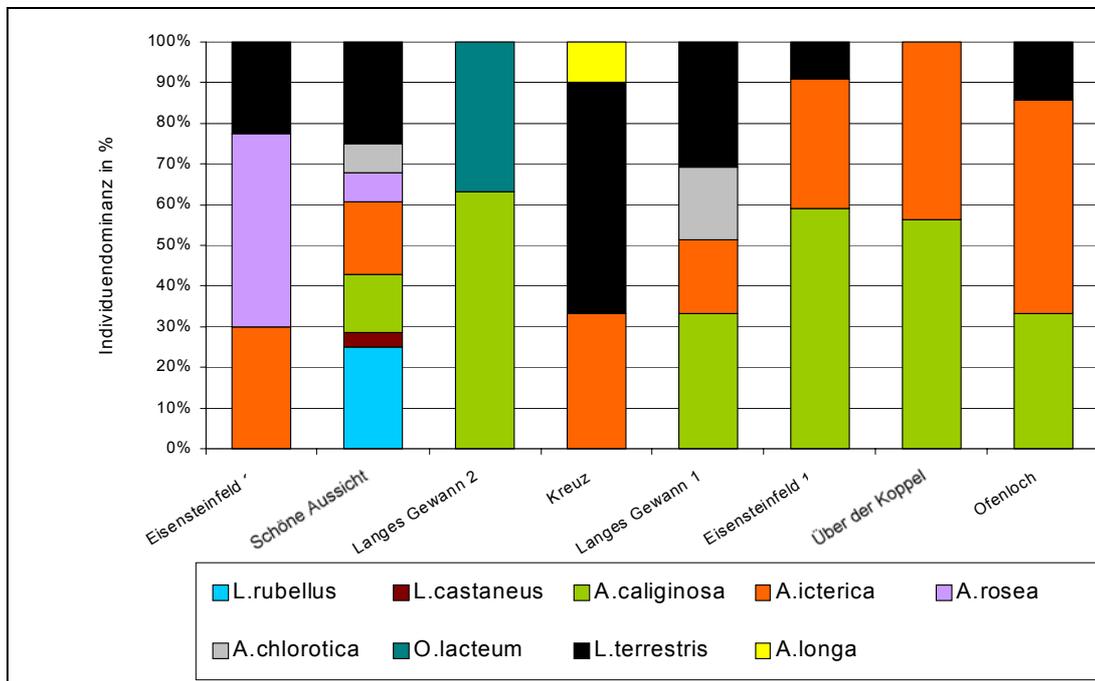


Abbildung 4.4: Relative Individuendominanz adulter Regenwürmer in den Dauertestflächen

*Aporrectodea caliginosa* trat in sechs der acht Testflächen auf. In drei Flächen machte diese Art einen Anteil von mehr als 55 % aus. Den geringsten Anteil hatte dieser Art mit 14,29 % in Schöne Aussicht. *Aporrectodea icterica* war in sieben Testflächen vertreten. Dominierende Spezies war diese Art mit 52,38 % in dem Ackerstandort Ofenloch. *Lumbricus terrestris* war in sechs der acht Testflächen zu finden. Diese Art erreichte in drei Flächen einen hohen prozentualen Anteil. *A. rosea* trat in zwei Flächen auf und war in Eisensteinfeld 2 mit 47,5 % dominierende Spezies. In Schöne Aussicht trat diese Art hingegen mit einem geringen Anteil von 7,14 % auf. *A. chlorotica* konnte in Schöne Aussicht und Langes Gewann 1 mit einer Dominanz von 7,14 % und 17,95 % nachgewiesen werden. *O. lacteum* wurde einzig in Langes Gewann 2 gefunden und erreichte dort eine Dominanz von 36,84 %. Neben *O. lacteum* wurden die Arten *A. longa*, *L. castaneus* und *L. rubellus* jeweils nur in einem Habitat gefunden.

### 4.3 Regenwurmpopulation und Bewirtschaftungsmaßnahmen der Dauertestflächen

Im Folgenden werden die Bewirtschaftungsmaßnahmen Fruchtfolge, letzte Grundbodenbearbeitung, Aussattermin, Ausbringung Wirtschaftsdünger (Rottemist und Gülle/Jauche) und ggf. Mineraldüngergaben in einer zeitlichen Abfolge für die acht Ackerstandorte (Dauertestflächen) dargestellt.

Abundanz und Biomasse ist für jeden Ackerstandort in einer Tabelle dargestellt und wird mit den durchschnittlichen Werten aus allen Ackerstandorten verglichen (Kap. 4.2.1).

Ein Kreisdiagramm zeigt die jeweilige prozentuale Verteilung der Arten.

#### Eisensteinfeld 2

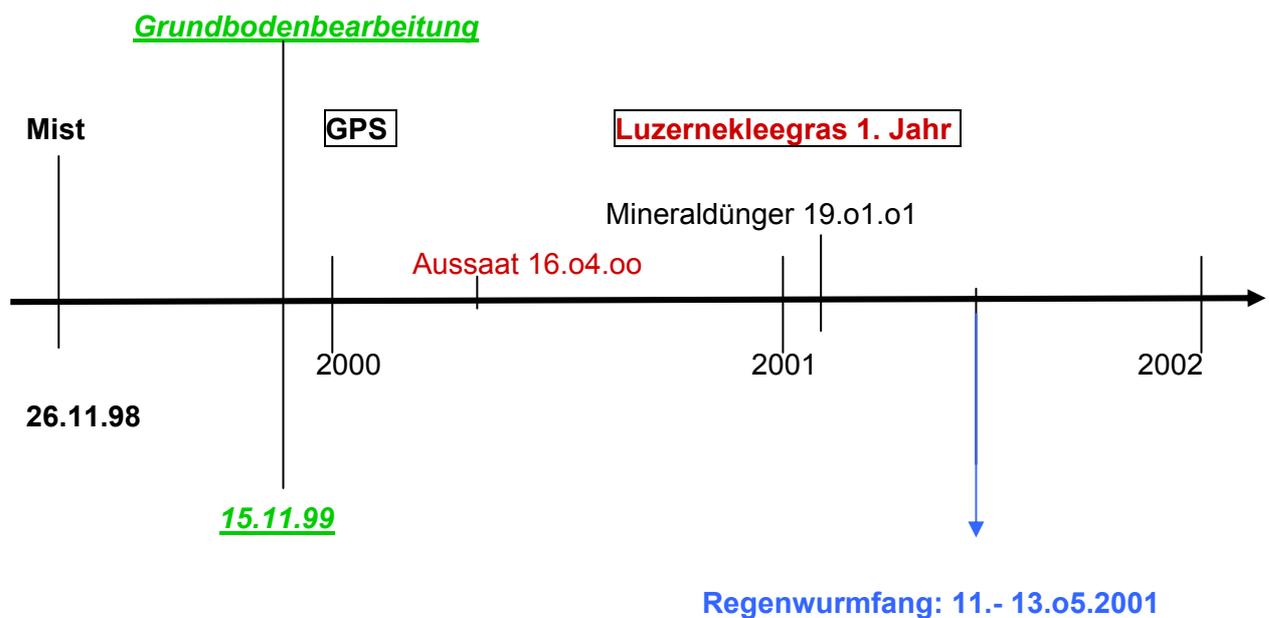


Abbildung 4.5: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Eisensteinfeld 2

Tabelle 4.4: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Eisensteinfeld 2

	<i>A. ictericia</i>	<i>A. rosea</i>	<i>L. terrestris</i>	<b>Adulte</b>	<b>Juvenile</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	12	19	9	40	51	<b>91</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]				49,1	12,8	<b>61,9</b>

Auf Eisensteinfeld 2 (Abbildung 4.5) wurde zum Termin des Regenwurmfanges Luzernekleegrass im ersten Nutzungsjahr angebaut. Der Standort (Tabelle 4.4) wies mit 91 Ind./m<sup>2</sup> die höchste Individuendichte mit der höchsten Biomasse (61,9 g/m<sup>2</sup>) auf. Die Biomasse der adulten Tiere war im Verhältnis zu der Individuendichte hoch, da viele schwere Tiere vertreten waren. Dividiert man die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) durch die Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) ergibt sich das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Das durchschnittliche Einzelwurmgewicht der adulten Tiere betrug 1,23 g/Ind. Für die juvenilen Tiere wurde ein durchschnittliches Einzelwurmgewicht von 0,25 g/Tier berechnet.

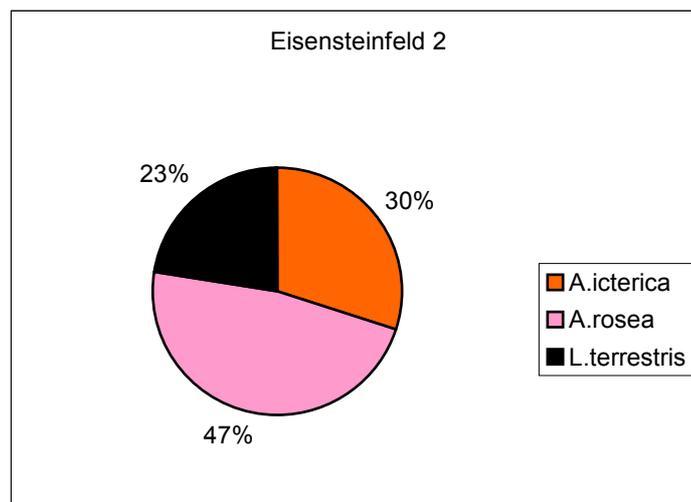


Abbildung 4.6: Individuendominanz des Standortes Eisensteinfeld 2

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Eisensteinfeld 2 geht aus Abbildung 4.6 hervor. Hier wurden die drei Arten *A. ictericia*, *A. rosea* und *L. terrestris* gefunden. Die Art *A. rosea* war mit einem Anteil von 47 % dominierende Spezies in diesem Habitat. Als weitere Arten kamen *A. ictericia* mit einer Dominanz von 30 % und *L. terrestris* mit einer Dominanz von 23 % vor. Diese Arten traten im Gegensatz zu *A. rosea* häufig auf.

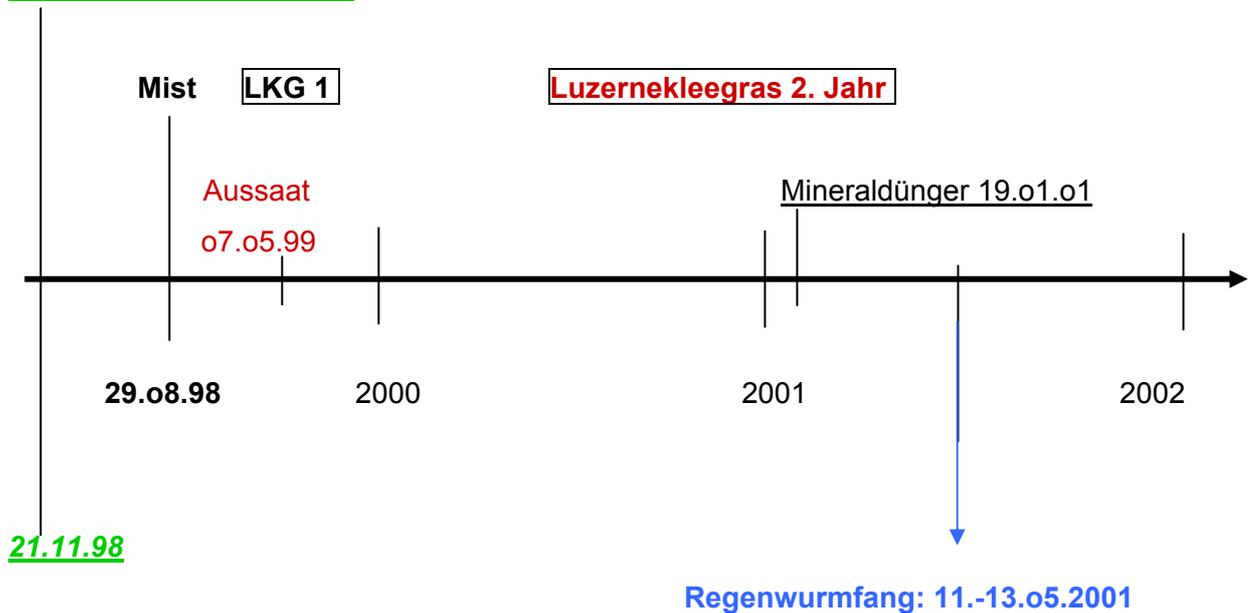
**Schöne Aussicht****Grundbodenbearbeitung**

Abbildung 4.7: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Schöne Aussicht

Tabelle 4.5: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Schöne Aussicht

	<i>L. rubellus</i>	<i>L. castaneus</i>	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. icterica</i>			
<b>Aktivitätsdichte [Ind. · m<sup>-2</sup>]</b>	7	1	4	5			
	<i>A. rosea</i>	<i>A. chlorotica</i>	<i>L. terrestris</i>	<b>Adulte</b>	<b>Juvenile</b>	<b>Gesamt</b>	
<b>Aktivitätsdichte [Ind. · m<sup>-2</sup>]</b>	2	2	7	28	31	<b>59</b>	
<b>Biomasse [g · m<sup>-2</sup>]</b>					29,8	7,5	<b>37,3</b>

Auf dem Standort Schöne Aussicht (Abbildung 4.7) wurde Luzernekleegras im zweiten Nutzungsjahr angebaut. Der Standort hatte in Vergleich zu den anderen Ackerstandorten die längste Bodenruhe. Daraus resultierte aber nicht die höchsten Aktivitätsdichte oder Biomasse der Regenwürmer in diesem Habitat (Tabelle 4.5). Die Abundanz wies mit einer Aktivitätsdichte von 59 Ind./m<sup>2</sup> eine über dem Durchschnitt liegende Individuendichte auf. Die Biomasse lag unter dem durchschnittlich ermittelten Wert. Wird die Biomasse (g/m<sup>2</sup>)

durch die Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) dividiert ergibt sich das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Es wurden viele juvenile Tiere mit einem durchschnittlichen Einzelwurmgewicht von 0,24 g/Ind. gefunden.

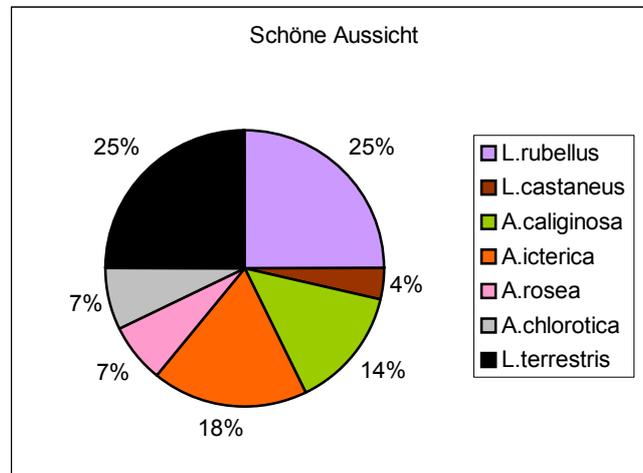


Abbildung 4.8: Individuendominanz des Standortes Schöne Aussicht

Die prozentuale Verteilung der Arten geht aus Abbildung 4.8 hervor. Schöne Aussicht zeigte sich mit sieben Arten als die artenreichste Dauertestfläche aller beprobter Habitate. Die beiden epigäischen Spezies, *L. rubellus* und *L. castaneus* konnten in keinem weiteren Ackerstandort nachgewiesen werden.

Dominierende Spezies waren *L. terrestris* und *L. rubellus*. Diese beiden Arten zeigten mit einem jeweiligen Anteil von 25 % eine gleich hohe Dominanz. Die epigäische Art *A. icterica* war mit einer Dominanz von 18 % dritthäufigste Art gefolgt von *A. caliginosa* (14 %).

Die endogäische Art *A. rosea* wurde in Schöne Aussicht und in noch einem weiteren Habitat (Eisensteinfeld 2) gefunden. In Schöne Aussicht konnte die Spezies mit nur zwei Individuen (Tabelle 4.5) und einer Dominanz von 7 % (Abbildung 4.8) nachgewiesen werden. Mit einem gleich hohen Anteil trat *A. chlorotica* auf. Die epigäische Art *L. castaneus* zeigte mit nur einem Individuum das geringste Vorkommen.

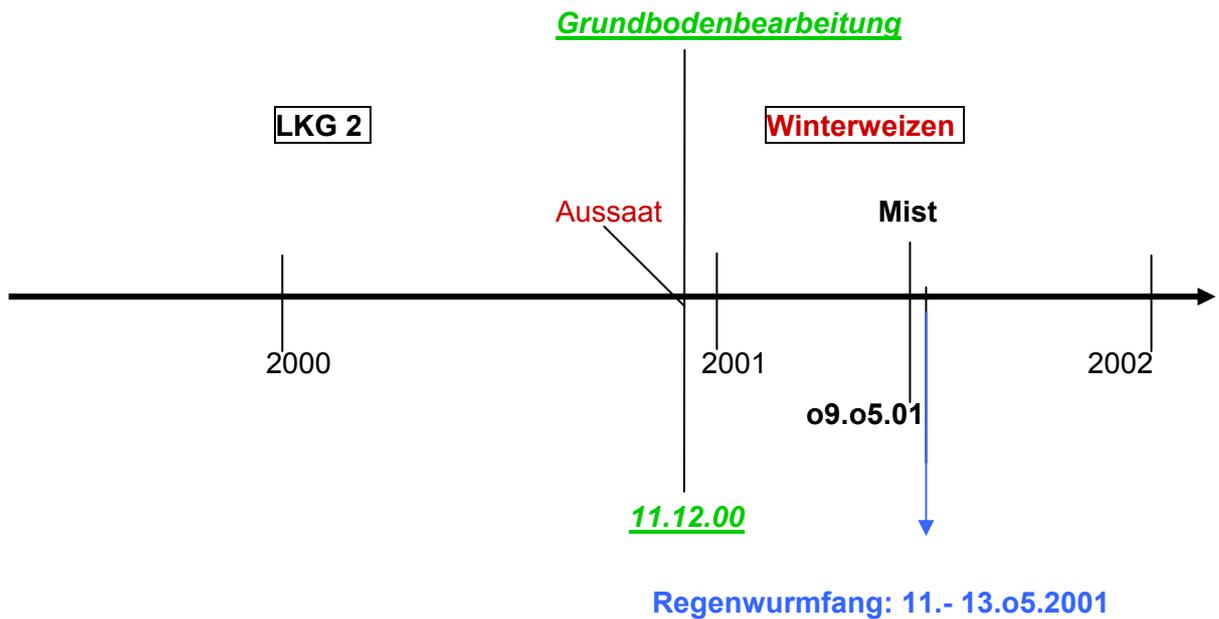
**Langes Gewann 2**

Abbildung 4.9: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Langes Gewann 2

Tabelle 4.6: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Langes Gewann 2

	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. chlorotica</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	12	7	19	12	<b>31</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]			19,4	9,9	<b>29,3</b>

Auf Langes Gewann 2 (Abbildung 4.9) wurde zum Termin des Regenwurmfanges als erste Frucht nach Luzernekleegras Weizen angebaut. Im Januar wurde Mist ausgebracht. Aus Tabelle 4.6 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Es wurde eine niedrige Aktivitätsdichte ermittelt, welche unter der durchschnittlichen Individuendichte lag. Auch die Biomasse lag mit 29,3 g/m<sup>2</sup> unter dem durchschnittlich ermittelten Wert. Die juvenilen Tiere wiesen mit 0,83 g/Ind. ein hohes durchschnittliches Einzelwurmgewicht auf, welches aus der Gesamtbiomasse und der Aktivitätsdichte der Juvenilen errechnet wurde.

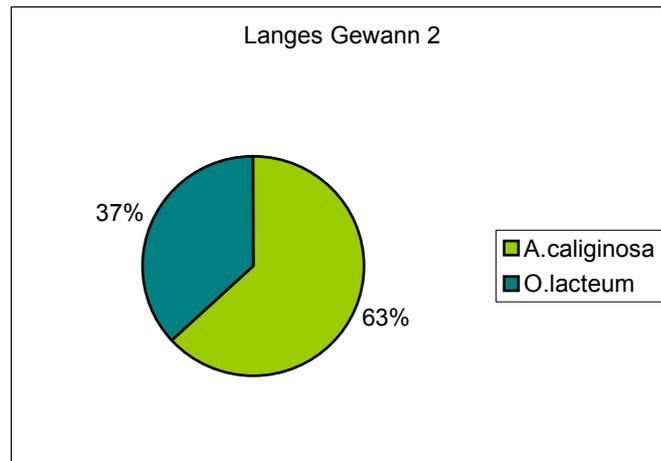


Abbildung 4.10: Individuendominanz des Standortes Langes Gewann 2

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Langes Gewann 2 geht aus Abbildung 4.10 hervor. Hier wurden die zwei Arten *A. caliginosa* und *O. lacteum* gefunden. Mit nur zwei verschiedenen Arten zählte Langes Gewann 2 zu den Ackerflächen mit den niedrigsten Artenzahlen. Die anözische Regenwurmart *Octolasion lacteum* OERLEY wurde einzig in diesem Habitat gefunden. Die prozentuale Verteilung der beiden Spezies zeigt Abbildung 4.10. *A. caliginosa* dominierte mit einem Anteil von 63 % über *O. lacteum*, der mit einem Anteil von 37 % auftrat. In keinem anderen Standort erreichte *A. caliginosa* eine so hohe Individuendominanz.

*A. icterica* konnte einzig in diesem Habitat nicht gefunden werden. Ebenso trat *L. terrestris* nicht auf, welcher in sechs der acht Habitate zu finden war (Kap. 4.2.4).

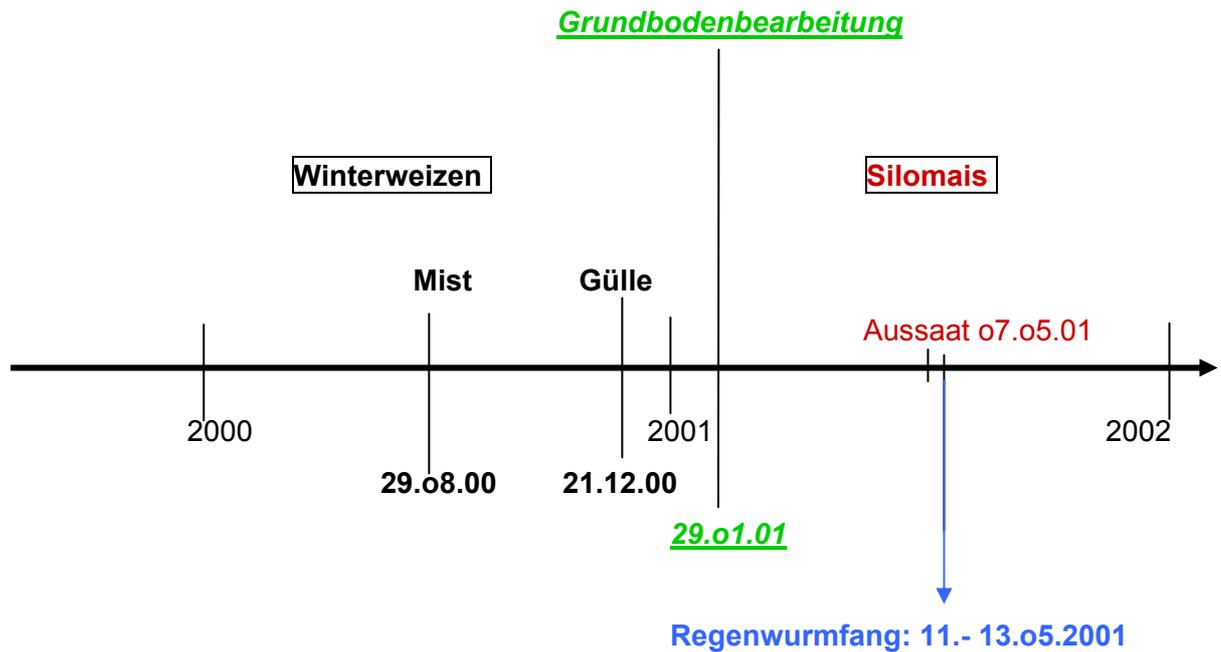
**Kreuz**

Abbildung 4.11: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Kreuz

Tabelle 4.7: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Kreuz

	<i>A. ictERICA</i>	<i>L. terrestris</i>	<i>A. longa</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	10	17	3	30	16	<b>46</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]				42,6	12,4	<b>55,0</b>

Auf Kreuz (Abbildung 4.11) wurde einige Tage vor der Probenahme Silomais gesät. Aus Tabelle 4.7 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Mit einer Abundanz von 46 Ind./m<sup>2</sup> lag Kreuz unter der durchschnittlichen Individuendichte. Die Biomasse lag mit 55 g/m<sup>2</sup> über dem durchschnittlich ermittelten Wert. Die Biomasse der adulten Tiere war im Verhältnis zu der Individuendichte hoch, es traten viele schwere Regenwürmer auf. Dividiert man die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) durch die Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) ergibt sich das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Bei den adulten Tieren betrug das Einzelwurmgewicht 1,42 g/Ind.. Für die juvenilen Tiere wurde ein Einzelwurmgewicht von 0,76 g/Ind. errechnet.

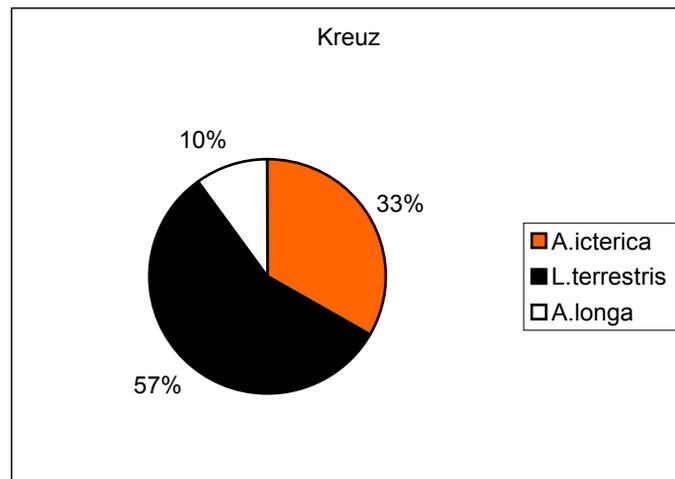


Abbildung 4.12: Individuendominanz des Standortes Kreuz

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Kreuz geht aus Abbildung 4.12 hervor. Hier wurden die drei Arten *A. ictERICA*, *L. terrestris* und *A. longa* gefunden. Die Art *L. terrestris* war mit einem Anteil von 57 % dominierende Spezies in diesem Habitat. In keinem anderen Habitat erreichte *L. terrestris* ein so hohes prozentuales Vorkommen. Zweithäufigste Art war *A. ictERICA* mit einer Dominanz von 33 %.

Als dritte Art trat die anözische Lebensform *Aporrectodea longa* UDE hinzu. Die Art wurde einzig in diesem Habitat gefunden. Es konnten drei Individuen bestimmt werden (Tabelle 4.7). Dies entspricht einer Individuendominanz von 10 % (Abbildung 4.12).

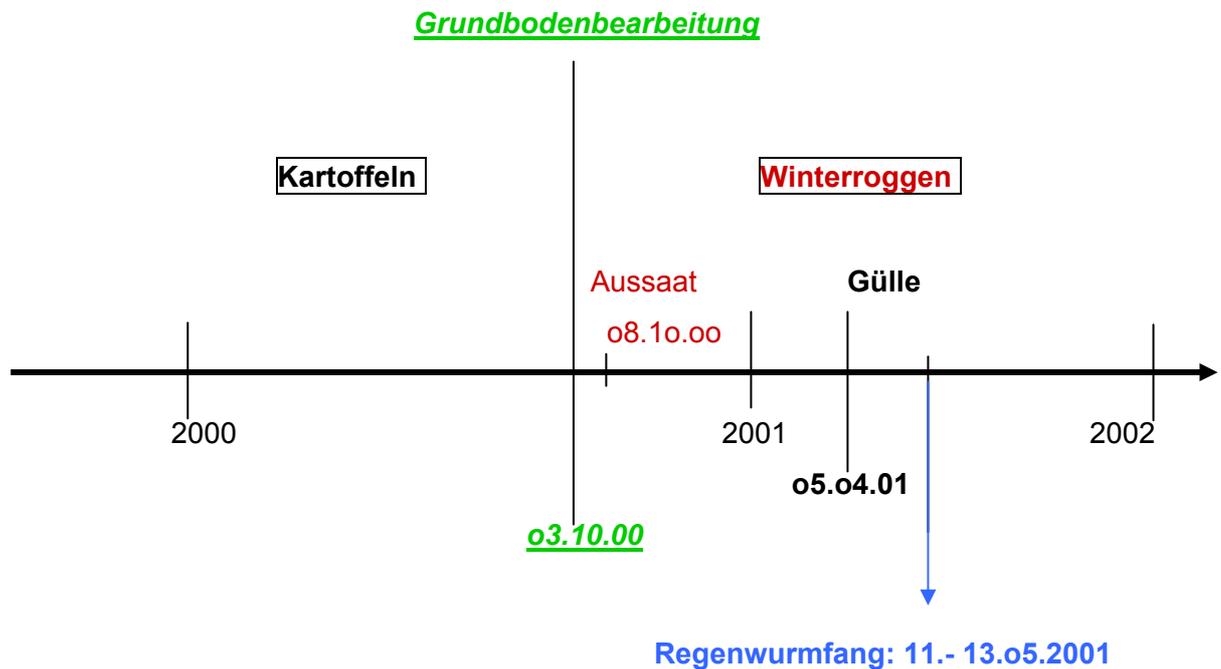
**Langes Gewann 1**

Abbildung 4.13: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Langes Gewann 1

Tabelle 4.8: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Langes Gewann 1

	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. ictERICA</i>	<i>A. chlorotic a</i>	<i>L. terrestri s</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	13	7	7	12	39	30	<b>69</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]					16,9	22,9	<b>39,8</b>

Auf dem Ackerstandort Langes Gewann 1 (Abbildung 4.13) wurde Winterroggen angebaut. Fünf Wochen vor der Probenahme wurde Gülle ausgebracht. Aus Tabelle 4.8 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Langes Gewann 1 (Tabelle 4.8) wies mit einer Aktivitätsdichte von 69 Ind./m<sup>2</sup> die zweithöchste Regenwurmabundanz aller Dauertestflächen auf. Die Biomasse lag hingegen unter dem durchschnittlich ermittelten Wert. Das Einzelwurmgewicht (g/Ind.) errechnet sich aus der Biomasse und der Aktivitätsdichte. Für die juvenilen Tiere lag es mit 0,76 g/Ind. über dem durchschnittlichen Einzelwurmgewicht der adulten Tiere. Für diese wurde ein durchschnittliches Einzelwurmgewicht von 0,43 g/Ind. errechnet.

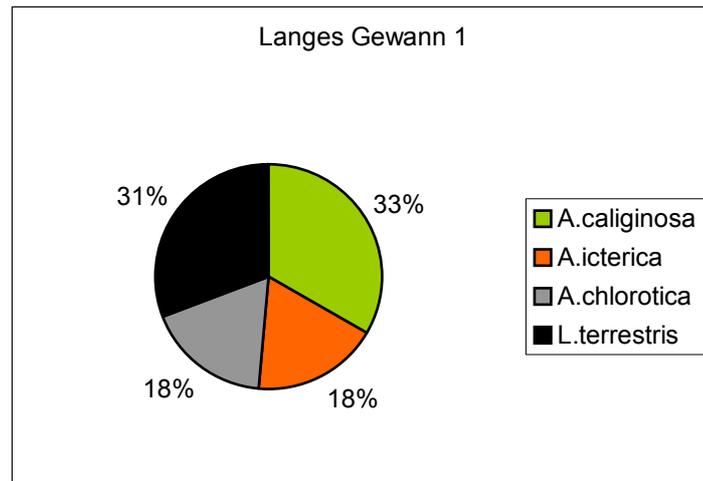


Abbildung 4.14: Individuendominanz des Standortes Langes Gewann 1

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Langes Gewann 1 geht aus Abbildung 4.14 hervor. Hier wurden die vier Arten *A. caliginosa*, *A. icterica*, *A. chlorotica* und *L. terrestris* gefunden. Dominierende Spezies war mit 33 % *A. caliginosa*. Mit einer Dominanz von 31 % zeigte sich *L. terrestris* als zweithäufigste Art. *A. chlorotica* und *A. icterica* wiesen mit einem jeweiligen Anteil von 18 % ein gleich hohes Vorkommen in diesem Habitat auf.

*Allolobophora chlorotica* SAVIGNY wurde nur noch in einem weiteren Habitat (Schöne Aussicht) gefunden. In Langes Gewann 1 konnte aber der meiste Anteil der gesamten *A. chlorotica* Population gezählt werden.

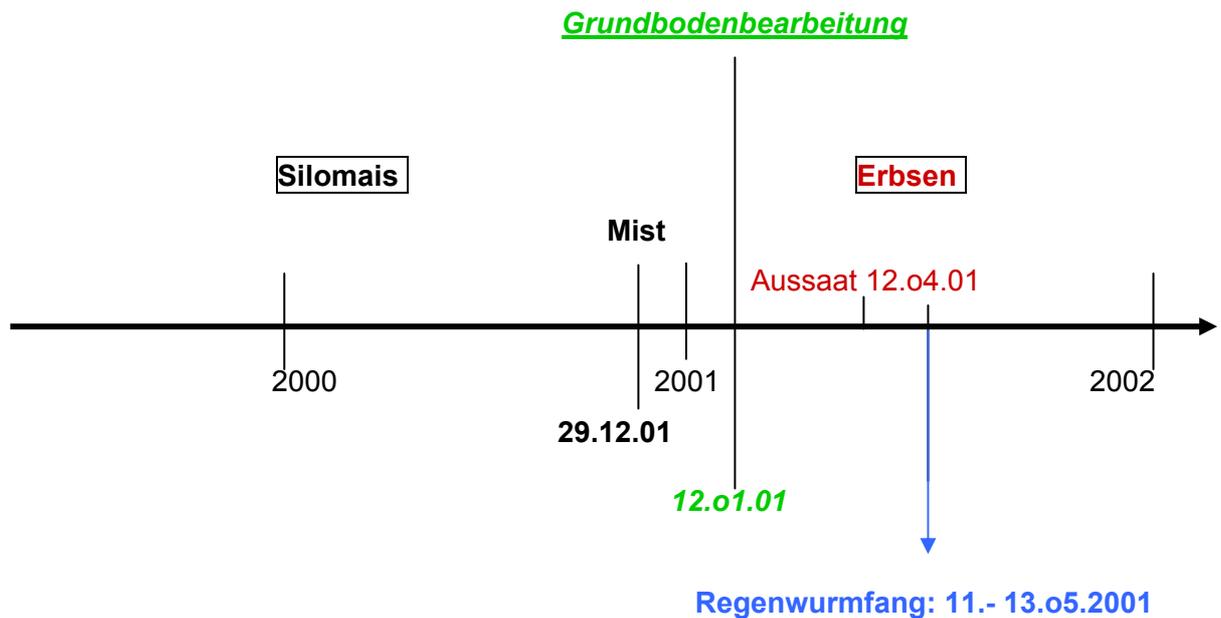
**Eisensteinfeld 1**

Abbildung 4.15: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Eisensteinfeld 1

Tabelle 4.9: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Eisensteinfeld 1

	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. ictercia</i>	<i>L. terrestris</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	13	7	2	22	17	<b>39</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]				39,4	13,7	<b>53,1</b>

Auf Eisensteinfeld 1 (Abbildung 4.15) wurde vier Wochen vor Probenahme Erbsen gesät. Aus Tabelle 4.9 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Mit einer Abundanz von 39 Ind./m<sup>2</sup> lag Eisensteinfeld 1 unter der durchschnittlichen Individuendichte, die Biomasse lag weit über dem durchschnittlich ermittelten Wert. Mit 53,1 g/m<sup>2</sup> wurde auf Eisensteinfeld 1 die höchste Biomasse aller beprobten Ackerstandorte ermittelt. Für die adulten Tiere wurde ein durchschnittliches Einzelwurmgewicht von 1,79 g/Ind. errechnet.

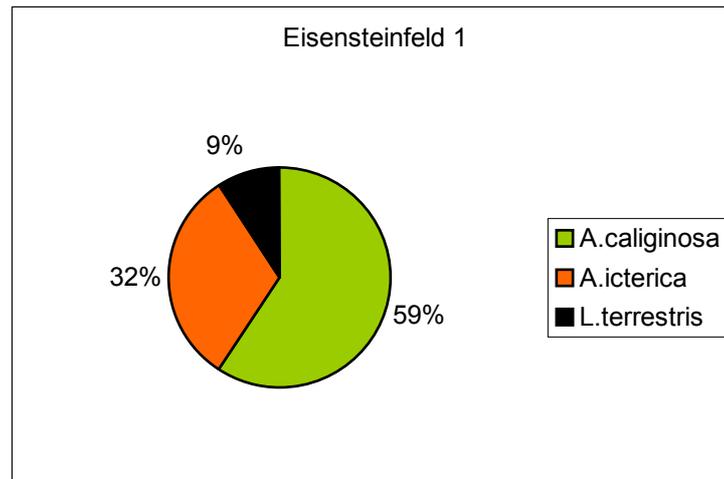


Abbildung 4.16: Individuendominanz des Standortes Eisensteinfeld 1

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Eisensteinfeld 1 geht aus Abbildung 4.16 hervor. Hier wurden die drei Arten *A. caliginosa*, *A. icterica* und *L. terrestris* gefunden. Dominierende Spezies war die endogäische Art *A. caliginosa* mit 59 %. *A. icterica* war mit 32 % zweithäufigste Art in diesem Habitat. *L. terrestris* kam mit einem Anteil von 9 % in Eisensteinfeld 1 vor. Verglichen mit dem Vorkommen dieser Art in den anderen Ackerstandorten, wies *L. terrestris* in Eisensteinfeld 1 die geringste Dominanz auf.

Die drei gefundenen Arten (*A. caliginosa*, *A. icterica*, *L. terrestris*) auf Eisensteinfeld 1 waren auch die Arten, die am häufigsten auf allen Standorten vertreten waren (Kap.4.2.3).

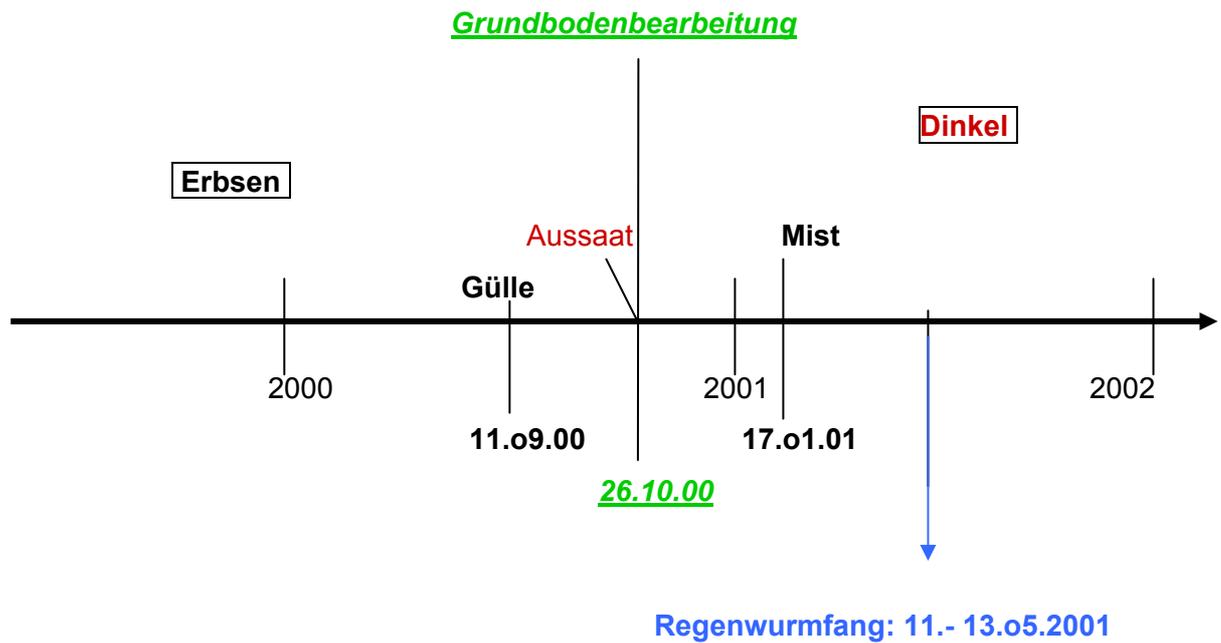
**Über der Koppel**

Abbildung 4.17: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Über der Koppel

Tabelle 4.10: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Über der Koppel

	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. Icteric</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	9	7	16	9	<b>25</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]			20,5	4.5	<b>25,0</b>

Auf dem Ackerstandort Über der Koppel (Abbildung 4.17) wurde zum Zeitpunkt der Probenahme Dinkel angebaut. Aus Tabelle 4.10 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Die Aktivitätsdichte wies mit 25 Ind./m<sup>2</sup> die geringste Regenwurmabundanz aller Ackerstandorte auf. Auch die Biomasse war mit 25 g/m<sup>2</sup> die geringste Biomasse, die für einen Ackerstandort ermittelt wurde.

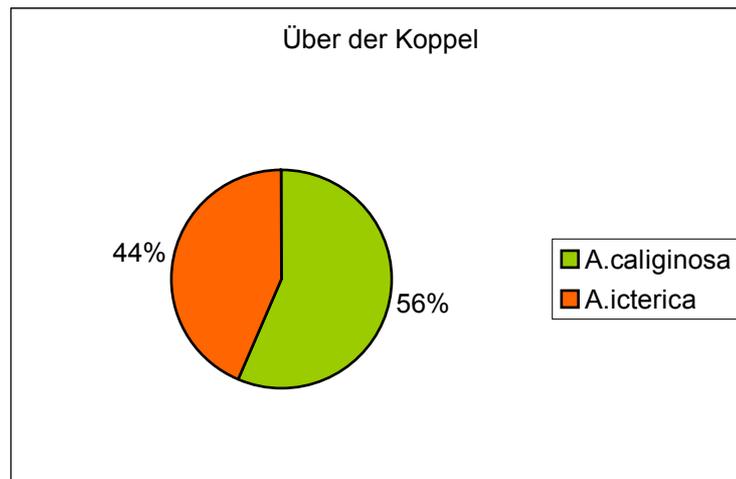


Abbildung 4.18: Individuendominanz des Standortes Über der Koppel

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Über der Koppel geht aus Abbildung 4.18 hervor. Hier wurden die zwei epigäischen Arten *A. caliginosa* und *A. ictERICA* gefunden. Mit nur zwei verschiedenen Arten zählte Über der Koppel zu den Ackerflächen mit den niedrigsten Artenzahlen. Dominierende Spezies war *A. caliginosa* mit einem Anteil von 56 %. Die zweite endogäische Art *A. ictERICA* kam mit einem Anteil von 44 % vor.

Die anözische Art *L. terrestris*, welcher in sechs der acht Ackerstandorte zu finden war, trat in diesem Habitat nicht auf.

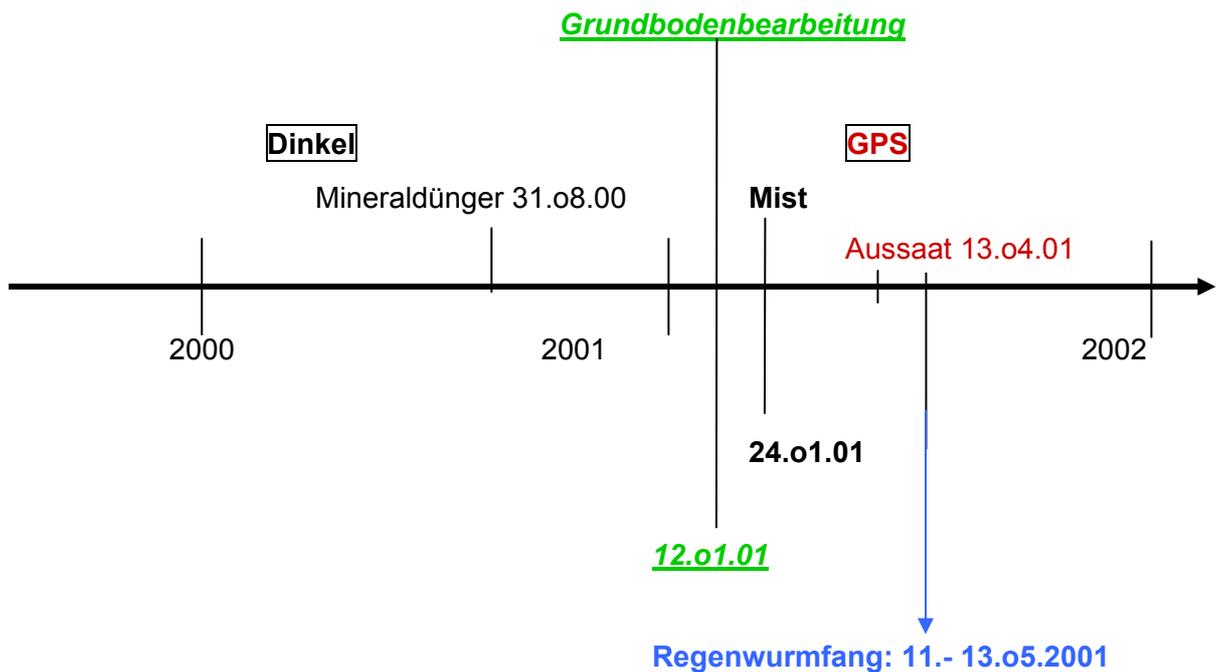
**Ofenloch**

Abbildung 4.19: Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kulturen des Standortes Ofenloch

Tabelle 4.11: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum des Standortes Ofenloch

	<i>A. caliginosa</i>	<i>A. icterica</i>	<i>L. terrestris</i>	<b>Adulte</b>	<b>Juvenile</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	7	11	3	21	25	<b>46</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]				16,7	9,1	<b>25,8</b>

Auf dem Ackerstandort Ofenloch (Abbildung 4.19) wurde zum Zeitpunkt der Probenahme Ganzpflanzsilage (GPS) angebaut. Die Aussaat erfolgte 4 Wochen vor dem Regenwurmfang. Aus Tabelle 4.11 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Ackerstandortes hervor. Mit einer Abundanz von 46 Ind./m<sup>2</sup> lag Schöne Aussicht unter der durchschnittlichen Individuendichte, auch die Biomasse lag unter dem durchschnittlich ermittelten Wert. Es traten viele adulte Tiere mit einer geringen Biomasse auf. Dividiert man die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) durch die Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) ergibt sich das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Für die adulten Tiere wurde ein Einzelwurmgewicht von 0,8 g/Ind. errechnet.

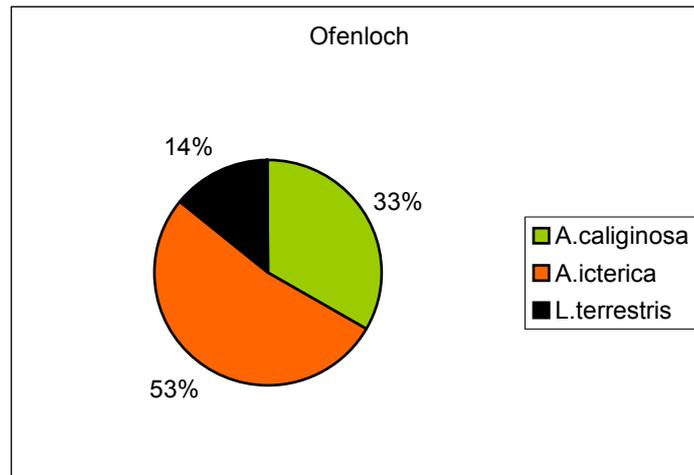


Abbildung 4.20: Individuendominanz des Standortes Ofenloch

Die prozentuale Verteilung der Arten im Ackerstandort Ofenloch geht aus Abbildung 4.20 hervor. Hier wurden die drei Arten *A. caliginosa*, *A. icterica* und *L. terrestris* gefunden. Dominierende Spezies ist *A. icterica* mit einem Anteil von 53 %. In keinem anderen Standort erreichte *A. icterica* eine so hohe Individuendominanz. Zweithäufigste Art war *A. caliginosa* mit einem Anteil von 33 %. Die anözischer Art *L. terrestris* trat mit einer Individuendominanz von 14 % auf.

Die häufigsten Arten aller Ackerstandorten stellten die endogäischen Spezies *A. caliginosa* und *A. icterica*, sowie die anözischen Art *L. terrestris* dar (vgl. Kap.4.2.3). Diese drei Arten waren hier vertreten.

#### 4.4 Begleituntersuchungen

Begleitende Untersuchungen zu Abundanz, Biomasse und Artenspektrum fanden in den Habitaten **Wiese** (Kap. 4.4.1) und **Wald** (Kap. 4.4.2) statt.

##### 4.4.1 Wiese

##### Abundanz und Biomasse

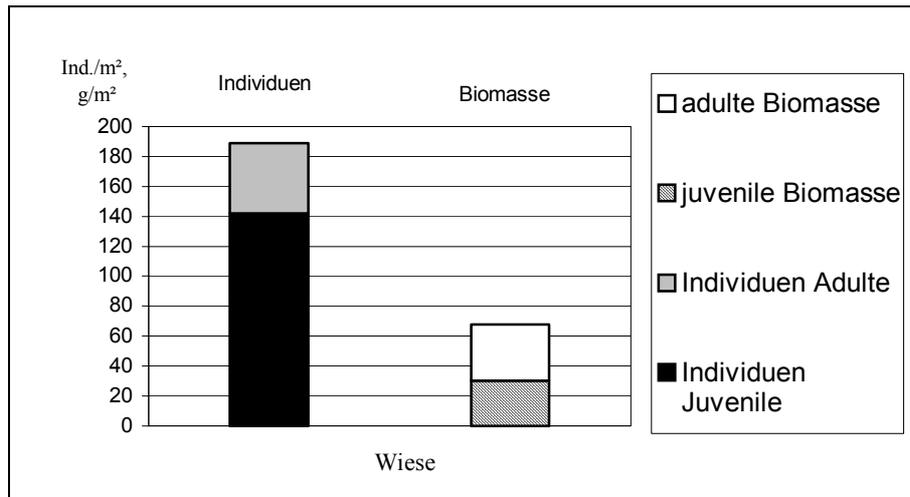


Abbildung 4.21: Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>) und Biomasse (g/m<sup>2</sup>) juveniler und adulter Tiere (Wiese)

Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Wiesenboden geht aus Abbildung 4.21 hervor. Unter Wiesennutzung wurde eine Individuendichte von 189 Ind./m<sup>2</sup> mit einer Biomasse von 67,6 g/m<sup>2</sup> gefunden.

Die adulten Tiere traten mit einer Individuendichte von 142 Ind./m<sup>2</sup> auf. Die Biomasse betrug 37,5 g/m<sup>2</sup>. Für die juvenilen Tiere wurde eine Individuendichte von 47 Ind./m<sup>2</sup> ermittelt. Die Biomasse betrug 30,2 g/m<sup>2</sup>.

Der Anteil juveniler Tiere machte 75 % der gesamten Individuendichte aus, der Anteil adulter Tiere 25 %. Die juvenile Biomasse hatte einen Anteil von 44,5 % an der Gesamtbiomasse, die adulte Biomasse von 55,5 %.

**Artenspektrum**

Im Wiesenboden wurden drei epigäische, eine endogäische und eine anözische Art gefunden.

**epigäische Arten:**

*Lumbricus castaneus* SAVIGNY

*Eisenia fetida* SAVIGNY

*Dendrodrilus [Dendrobaena] rubidus rubidus* SAVIGNY

**endogäische Art:**

*Aporrectodea [Allolobophora] caliginosa* SAVIGNY

**anözische Art:**

*Lumbricus terrestris* LINNÉ [L. herculeus (SAVIGNY)]

**Vorkommen und Verteilung**

Tabelle 4.12: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum in einem Wiesenboden

	<i>L. castaneus</i>	<i>D. rubidus</i>	<i>E. fetida</i>	<i>A. caliginosa</i>	<i>L. terrestris</i>
<b>Aktivitätsdichte [Ind. · m<sup>-2</sup>]</b>	12	14	1	12	8

	<b>Adulte</b>	<b>Juvenile</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Aktivitätsdichte [Ind. · m<sup>-2</sup>]</b>	47	142	189
<b>Biomasse [g · m<sup>-2</sup>]</b>	37,5	30,2	67,7

Aus Tabelle 4.12 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des Wiesenstandortes hervor. Die Individuendichte lag unter Wiesennutzung mit 189 Ind./m<sup>2</sup> und einer Biomasse von 67 g/m<sup>2</sup> höher als unter den ackerbaulich genutzten Flächen. Es trat ein hoher Anteil juveniler Tiere mit einer geringen Biomasse auf. Dividiert man die Biomasse (g/m<sup>2</sup>) durch die Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) erhält man das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Für die juvenilen Tiere wurde ein Einzelwurmgewicht von 0,21 g/Ind. errechnet.

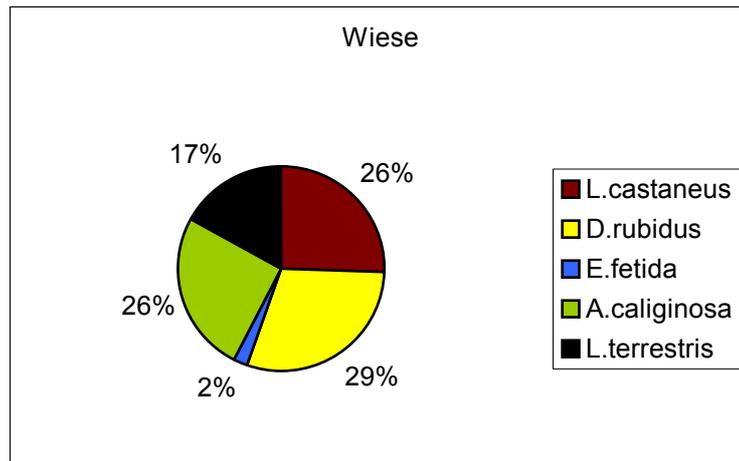


Abbildung 4.22: Individuendominanz des Wiesestandortes

Die prozentuale Verteilung der Arten im beprobten Wiesenstandort geht aus Abbildung 4.22 hervor. Hier wurden die fünf Arten *L. castaneus*, *D. rubidus*, *E. fetida*, *A. caliginosa* und *L. terrestris* gefunden. Dominierende Spezies war *D. rubidus* mit einem Anteil von 29 %. *L. castaneus* und *A. caliginosa* waren mit einem gleich hohen Anteil von 26 % vertreten. *L. terrestris* trat mit 17 % auf. Ein Exemplar des Mistwurmes *E. fetida* (Tabelle 4.12) konnte bestimmt werden. Für diese Art errechnete sich eine Individuendominanz von 2 % für den Standort Wiese.

Die epigäischen Arten *L. castaneus* und *D. rubidus* zeigen mit 26 % und 29 % ein prozentual hohes Aufkommen. Diese Arten sind typische Wiesenarten. Als einzig tiefgrabende Art trat *L. terrestris* auf.

#### 4.4.2 Wald

##### Abundanz und Biomasse

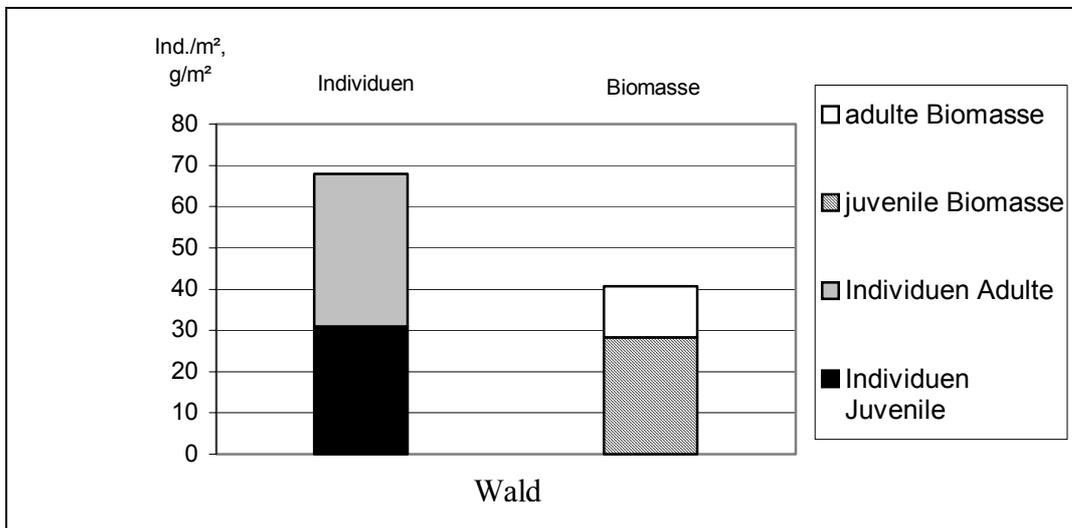


Abbildung 4.23: Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>) und Biomasse (g/m<sup>2</sup>) juveniler und adulter Tiere (Wald)

Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Waldboden geht aus Abbildung 4.23 hervor. Im Wald wurde eine Individuendichte von 68 Ind./m<sup>2</sup> mit einer Biomasse von 40,8 g/m<sup>2</sup> gefunden.

Die adulten Tiere traten mit einer Individuendichte von 37 Ind./m<sup>2</sup> auf. Die Biomasse betrug 12,5 g/m<sup>2</sup>.

Für die juvenilen Tiere wurde eine Individuendichte von 31 Ind./m<sup>2</sup> ermittelt. Die Biomasse betrug 28,3 g/m<sup>2</sup>.

Der Anteil juveniler Tiere machte 45,6 % der gesamten Individuendichte aus, der Anteil adulter Tiere 54,4 %. Die juvenile Biomasse hatte einen Anteil von 69,4 % an der Gesamtbiomasse, die adulte Biomasse von 30,6 %.

**Artenspektrum**

Im Waldboden wurden zwei epigäische und eine anözische Art gefunden.

**epigäische Art:**

*Lumbricus rubellus* HOFFMEISTER

*Octolasion cyaneum* SAVIGNY

**anözische Art:**

*Lumbricus terrestris* LINNÉ [L. herculeus (SAVIGNY)]

**Vorkommen und Verteilung**

Das Artvorkommen sowie die Individuendichte juveniler und adulter Tiere kann Tabelle 4.13 entnommen werden.

Tabelle 4.13: Abundanz, Biomasse und Artenspektrum in einem Waldboden

	<i>L. rubellus</i>	<i>L. terrestris</i>	<i>O. cyaneum</i>	Adulte	Juvenile	Gesamt
<b>Aktivitätsdichte</b> [Ind. · m <sup>-2</sup> ]	11	19	7	37	31	<b>68</b>
<b>Biomasse</b> [g · m <sup>-2</sup> ]				12,5	28,3	<b>40,8</b>

Aus Tabelle 4.13 geht die ermittelte Aktivitätsdichte und Biomasse des untersuchten Waldstandortes hervor. Die Individuendichte lag im Waldboden mit 68 Ind./m<sup>2</sup> und einer Biomasse von 40 g/m<sup>2</sup> nicht höher als die Individuendichte in den ackerbaulich genutzten Flächen. Es trat ein hoher Anteil adulter Tiere mit einer geringen Biomasse auf. Biomasse (g/m<sup>2</sup>) dividiert durch Aktivitätsdichte (Ind./m<sup>2</sup>) ergibt das durchschnittliche Einzelwurmgewicht (g/Ind.). Für die adulten Tiere wurde ein Einzelwurmgewicht von 0,31 g/Ind. errechnet. Die Biomasse der juvenilen Tiere wies ein durchschnittliches Einzelwurmgewicht von 0,9 g/Ind. auf.

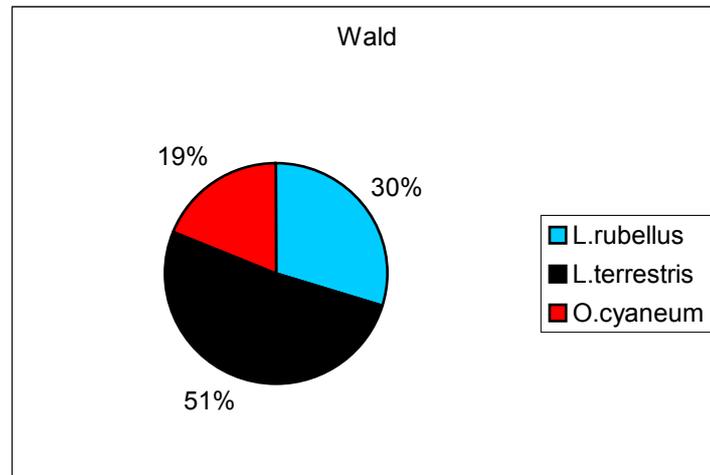


Abbildung 4.24: Individuendominanz des Waldstandortes

Die prozentuale Verteilung der Arten im beprobten Waldstandort geht aus Abbildung 4.24 hervor. Hier wurden die drei Arten *L. rubellus*, *L. terrestris* und *O. cyaneum* gefunden. Dominierende Spezies war *L. terrestris* mit einem Anteil von 51 %. *L. rubellus* war mit einem Anteil von 30 % und *O. cyaneum* mit einem Anteil von 19 % vertreten.

Die epigäische Art *O. cyaneum* konnte einzig im Waldboden gefunden werden. Diese Art war nicht in den Ackerstandorten, Ackerrainen oder Wiese vertreten.

#### 4.4.3 Rain - Feldmitte

Untersuchungen zur räumlichen Verteilung des Regenwurmbesatzes vom Feldrain zur Feldmitte fanden auf dem Ackerstandort Schöne Aussicht statt. Aus Tabelle 4.14 geht die Abundanz (juvenile und adulte Tiere) für jeweils eine Stichprobe (1/10 m<sup>2</sup>) je Distanzpunkt und Wiederholung hervor. Distanzpunkt "0 Meter" bezeichnet den Ackerrain. Die weiteren Distanzpunkte lagen in einer Entfernung von 10, 30, 60 und 100 Metern vom Feldrain entfernt.

Tabelle 4.14: Anzahl der Individuen je 1/10 m<sup>2</sup> von Feldrain zu Feldmitte je Distanzpunkt (0, 10, 30, 60, 100 Meter) und Wiederholung (n = 4) des Ackerstandortes Schöne Aussicht (Juni 2001)

	Entfernung vom Feldrain				
	0 Meter	10 Meter	30 Meter	60 Meter	100 Meter
<b>1. Wdh.</b>	20	20	15	9	21
<b>2. Wdh.</b>	41	32	12	15	6
<b>3. Wdh.</b>	36	31	7	16	12
<b>4. Wdh.</b>	38	27	12	6	11

Tabelle 4.14 zeigt die Individuendichte je Stichprobe (1/10 m<sup>2</sup>) für vier Wiederholungen bei fünf verschiedenen Distanzpunkten. Für Distanzpunkt "0 Meter" traten in drei Fällen höhere Regenwurmabundanzen auf als bei Distanzpunkt "100 Meter". Mit Ausnahme der ersten Wiederholung lag die Individuendichte am Feldrain höher als in der Feldmitte. Die erste Wiederholung zeigte bei Distanzpunkt "100 Meter" eine höhere Anzahl gefundener Tiere als bei Distanzpunkt "0 Meter".

Tabelle 4.15: Anzahl der Individuen je 1/10 m<sup>2</sup> von Feldrain zu Feldmitte je Distanzpunkt (0, 10, 30, 60, 100 Meter) und Wiederholung (n = 3) des Ackerstandortes Schöne Aussicht (Oktober 2001)

	Entfernung vom Feldrain				
	0 Meter	10 Meter	30 Meter	60 Meter	100 Meter
<b>1. Wdh.</b>	36	38	17	20	13
<b>2. Wdh.</b>	41	34	20	8	9
<b>3. Wdh.</b>	55	18	32	9	11

Tabelle 4.15 zeigt die Individuendichte je Stichprobe (1/10 m<sup>2</sup>) für drei Wiederholungen bei verschiedenen Distanzpunkten. Im Ackerrain (0 Meter) traten Individuenzahlen zwischen 36 und 55 Individuen pro Stichprobe auf. In der Feldmitte (100 Meter) wurden Individuenzahlen zwischen 9 und 13 Individuen pro Stichprobe ermittelt. Die Untersuchungen zeigten in allen drei Wiederholungen einen Rückgang der Individuenzahlen mit zunehmender Entfernung von Feldrain.

*Lumbricus terrestris* L. konnte bei allen Distanzpunkten nachgewiesen werden.

## 5 Diskussion

Größe und Zusammensetzung der Regenwurmpopulationen werden von vielfältigen Einflüssen geprägt. Dabei wirken Standortfaktoren wie Bodentemperatur, Bodenwassergehalt sowie Menge und Qualität des Nahrungsangebotes auf die zeitliche Dynamik einer Population ein (STOCKFISCH 1997).

In der vorliegenden Arbeit wurde eine erste Analyse von Abundanz, Biomasse und Artenspektrum der Regenwurmpopulationen in verschiedenen Habitaten des Gladbacherhofs durchgeführt. Da keine Vergleichsdaten aus vorherigen Untersuchungen vorliegen, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob und in welchem Maße Einflüsse auf die gegenwärtige Dynamik und Struktur der Lumbricidenzönose innerhalb der beprobten Habitate gewirkt haben. Langfristige Schwankungen der Populationsdynamik machen nach DUNGER & FIEDLER (1997) Beobachtungen über drei bis fünf Jahre zur Voraussetzung. Daher kann die Wirkung von Menge und Qualität des Nahrungsangebotes, sowie einzelner pflanzenbaulicher Maßnahmen auf Prozesse der Populationsdynamik mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Es kann beispielsweise keine Aussage darüber getroffen werden, ob eine länger zurückliegende Grundbodenbearbeitung zu einer höheren Besatzdichte der Population eines Habitates geführt hat. Aufschlüsse darüber können weiterführende Untersuchungen bringen.

Mögliche vorangegangene Einflüsse von Klima und Bewirtschaftung auf die gegenwärtigen Populationsstrukturen der ackerbaulich genutzten Böden des Gladbacherhofes sollen im Folgenden mit Hilfe der Literatur und vergleichenden Untersuchungen anderer Autoren diskutiert werden.

### ***Fangmethode***

Der Regenwurmfang wurde mittels der Handauslese realisiert. Nach EHRMANN & BABEL (1991) bestehen Beeinträchtigungen der Fangeffizienz in der Erfassung anözischer Arten, da sich diese in tiefere Bodenschichten zurückziehen können und mit der Handauslese schwer zu erfassen sind. Im Gegensatz zur Handauslese können bei den aktivitätsbezogenen Methoden nur die aktiven Regenwürmer gefangen werden, da diese selbständig an die Bodenoberfläche kommen können. Sehr kleine und inaktive Arten können

somit nicht erfasst werden (STOCKFISCH 1997). Die Faktoren Bodenfeuchte und Bodentemperatur, welche maßgeblich auf die Aktivität der Lumbriciden einwirken (vgl. Kap. 2.2), spielen folglich bei der aktivitätstunabhängigen Handauslese eine untergeordnete Rolle.

Obwohl während des Regenwurmfangs auf dem Gladbacherhof kein Methodenvergleich durchgeführt wurde, kann aufgrund des großen Anteils gefangener adulter tiefgrabender Arten davon ausgegangen werden, dass bei der durchgeführten Handauslese keine großen Beeinträchtigungen bzgl. der Fangeffizienz bestanden haben. Eine Beeinträchtigung würde bedeuten, dass der reale Anteil anözischer Arten noch höher liegen müsste.

### ***Witterungsverlauf***

Die im Zeitverlauf auftretenden Veränderungen der Regenwurmpopulationen eines Standortes werden im wesentlichen durch den Temperaturverlauf und die Niederschläge eines Jahres beeinflusst (GRAFF 1983). Diese wirken sich nicht nur auf Abundanz und Biomasse aus (GRAFF 1983), sondern spiegeln sich auch in veränderten Artenzahlen wider (HEMMANN & LEITHOLD 1994). Es ist anzunehmen, dass das von Trockenheit gekennzeichnete Jahr 1999 Auswirkungen auf die Populationsstruktur der im Jahr 2001 untersuchten Habitate gehabt hat. HEMMANN (1994) beobachtete, dass nach einem niederschlagsarmen Jahr ein überdurchschnittliches feuchtes Jahr alleine nicht ausreicht um zu einer Erholung der Population zu führen. Es scheint daher plausibel, dass sich zum Zeitpunkt der Probenahme im Frühjahr 2001 mögliche Abundanzdepressionen aufgrund der ungünstigen klimatischen Verhältnisse des Jahres 1999 noch nachhaltig auf die Populationsdichte der beprobten Habitate ausgewirkt haben. Da anözische Arten sich in tiefere Bodenschichten zurückziehen können, reagieren diese unempfindlicher gegenüber Trockenheit als endogäische Arten. Folglich dauert die Regeneration der endogäischen Formen über einen längeren Zeitraum an (WESTERNACHER - DOTZLER, 1988). Denkbar ist, dass der verhältnismäßig hohe Anteil anözischer Arten in den Dauertestflächen des Gladbacherhofs mitunter aus einer noch anhaltenden Regeneration der endogäischen Arten resultiert.

## **Regenwurmpopulationen in den ackerbaulich genutzten Böden**

### ***Einflussfaktoren***

Die beprobten Habitate wiesen unterschiedliche Werte in Abundanz, Biomasse und Artenspektrum auf. Die klimatischen Verhältnisse bzw. deren Rückkopplung auf die **Bodenfeuchte** und **Bodentemperatur** zur Zeit der Regenwurmerfassung im Mai 2001 (vgl. Kap. 4.1) lagen im für Regenwürmer optimalen Bereich (vgl. Kap. 2.2). Nach GRAFF (1983) haben Regenwürmer zu dieser Zeit und unter diesen Bedingungen ihre Hauptaktivitätsphase. Die **pH-Werte** der untersuchten Böden weisen geringe Unterschiede auf, jedoch lagen alle Werte in einem für Regenwürmer günstigem Optimum. Störungen durch **Diapausen** bestanden während der Probenahme nicht. Einen Einfluss oder Zusammenhang von **Bodentyp** (vgl. Kap. 3.2.1) und **Bodenart** auf das Artenspektrum sowie auf Abundanz und Biomasse ist nicht zu erkennen.

Es scheint daher wahrscheinlich, dass für den unterschiedlichen Regenwurmbesatz der beprobten Flächen **bewirtschaftungsabhängige** Faktoren verantwortlich sind.

### ***Artenspektrum***

In den ackerbaulich genutzten Böden des Gladbacherhofs wurden insgesamt neun Regenwurmartarten gefunden. Mit bis zu sieben Arten wiesen die acht ackerbaulich genutzten Standorte eine große Artenvielfalt auf. Nach Graff (1983) findet man auf Ackerstandorten selten mehr als vier Arten miteinander vergesellschaftet. Hohe Artenzahlen lassen auf eine gute Humusversorgung der Ackerböden schließen (vgl. Kap. 2.2.6).

Vertreten waren Spezies aller ökologischer Gruppen. Am häufigsten traten die endogäischen Arten ***Aporrectodea icterica*** mit 27,44 % und ***Aporrectodea caliginosa*** mit 26,97 % auf. Die dritthäufigste Art stellte die anözische Form ***Lumbricus terrestris*** mit 23,25 % dar. *Aporrectodea caliginosa* und *Lumbricus terrestris* wurden in sechs, *Aporrectodea icterica* in sieben der acht untersuchten Habitate gefunden. Eine Ungleichverteilung der Individuendominanz konnte in keiner der Versuchsflächen beobachtet werden, die Verteilung der Arten wies ein ausgewogenes Verhältnis auf (Abbildung 4.4).

Die endogäischen Arten sind an ein Leben in Ackerstandorten gut angepasst. Auch die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* wird häufig in Ackerstandorten gefunden, dort tritt er jedoch in der Regel in geringer Abundanz auf. Nach GRAFF (1983) ist diese Art mit einer durchschnittlichen Abundanz von 5 % an der Artzusammensetzung in Ackerflächen beteiligt, KRÜCK et al. (2001) wiesen im konventionellen Landbau einen Anteil des Tiefgräbers *Lumbricus terrestris* von 3-10 % nach. Ökologisch wirtschaftende Betriebe zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass insbesondere die tiefgrabenden Arten zahlreicher vertreten sind (PFIFFNER & MÄDER 1997, PAPAJA & HÜLSBERGEN 2000). Für die ackerbaulich genutzten Flächen des Gladbacherhofs kann der prozentuale Anteil der agronomisch wichtigen Art *L. terrestris* mit 23 % als sehr hoch eingestuft werden.

Das Vorkommen vieler vertikal grabender Regenwurmarten im Ackerland kann Erosion und Verschlammung durch einer verbesserten Wasserinfiltration und der Auflösung von Verdichtungen entgegenwirken (JOSCHKO et al. 2001). Da auf den Ackerflächen des Gladbacherhofs eine regelmäßige Grundbodenbearbeitung durchgeführt wird, kann für den höheren Besatz keine reduzierte Bodenbearbeitung verantwortlich gemacht werden, welche nach FRIEBE & HENKE (1992) das Vorkommen vieler tiefgrabende Arten fördert. Als Hauptursache für den veränderten Regenwurmbesatz im ökologischen Landbau gilt das stark veränderte Pflanzenschutz- und Düngungsregime (PFIFFNER 1993).

Die endogäische Arte *Aporrectodea rosea* SAVIGNY konnte in nur zwei Habitaten gefunden werden. Das überrascht zunächst, da insbesondere *Aporrectodea rosea* als relativ tolerant gegenüber Bewirtschaftungseinflüssen gilt und ihr eine große ökologische Valenz bescheinigt wird (STRESEMANN et al. 1992). BAUCHHENS (1991) machte ähnliche Beobachtungen in der Artverteilung dieser Spezies. Dieser Autor stellte in Vergleichen extensiver und intensiver Anbausysteme Unterschiede in den Artzusammensetzungen der Regenwurmpopulationen fest. In dem extensiven Anbausystem kamen die Arten *L. terrestris* und *A. caliginosa* prozentual häufiger vor als *A. rosea*, in dem intensiven Anbausystem hatte hingegen *A. rosea* höhere Dominanzen als *L. terrestris* und *A. caliginosa*. Diese beiden Spezies reagieren auf Belastungen durch eine intensive Bewirtschaftung empfindlicher als *A. rosea* (BAUCHHENS 1991). Folglich scheint es möglich, dass die Maßnahmen der ökologischen Wirtschaftsweise des Gladbacherhofs ausschlaggebend für die größere Dominanz der Art *A. caliginosa* gegenüber *A. rosea* sind. In gleicher Weise verhält es sich mit den endogäischen Arten *Allolobophora chlorotica* SAVIGNY und *Octolasion lacteum* OERLEY. *A. chlorotica* konnte in einem, *O. lacteum* in zwei ackerbaulich genutzten Standorten des Gladbacherhofs nachgewiesen werden. Diese beiden Mineralbodenformen kommen in den Vergleichen von BAUCHHENS (1991) ausschließlich in den extensiv bewirtschafteten Anbausystemen vor.

Die für Ackerstandorte eher untypischen Lebensformtypen der Streubewohner *Lumbricus rubellus* HOFFMEISTER und *Lumbricus castaneus* SAVIGNY konnten in der Testfläche "Schöne Aussicht" nachgewiesen werden. Diese Arten sind in der Regel in Böden vertreten, die eine hohe Akkumulation an organischer Substanz an der Bodenoberfläche aufweisen und gelten als typische Arten in Wald- und Grünlandböden (vgl. Kap. 2.1.3). Mit sieben Arten wies die "Schöne Aussicht" die höchste Artenzahl aller beprobten Ackerstandorte auf. Verantwortlich für die hohen Artenzahlen sind mit großer Wahrscheinlichkeit die grünlandähnlichen Standortverhältnisse durch den Anbau von Luzernekleegrass im 2. Nutzungsjahr und die daraus resultierende Bodenruhe. KNÜSTING & BARTELS (1994) konnten auf Ackerflächen, auf denen zuvor Klee grasgemenge als Zwischenfrucht angebaut wurde, hohe Artenzahlen registrieren. Die Autoren gehen davon aus, dass durch den Zwischenfruchtanbau von Klee grasgemenge das Überleben von Arten aus Ackerrandbereichen auch nach Änderung von Fruchtfolge und Bewirtschaftung über mehrere Jahre hinweg erhalten bleibt. Folglich muss es zu einer Einwanderung der Arten aus den Randbereichen und angrenzenden Flächen gekommen sein.

### **Regenwurmpopulationen in naturnahen Flächen**

Die Untersuchungen auf dem Gladbacherhof zeigen, dass die an Ackerflächen angrenzende Standorte, wie Wiesen und Feldraine, den beprobten Ackerflächen in Biomasse und Abundanz überlegen waren (vgl. Kap. 4.4). Nach HEMMANN (1994) kann die Gegenüberstellung von Ackerfläche und angrenzender Vergleichsfläche Rain oder Wiese, einen ersten Ansatzpunkt für Parallelen auf der Basis quantitativer Prüfmerkmale im Vergleich einzelner Standorte darstellen, da hier witterungsbedingte Unterschiede auszuschließen sind. Es variieren Bewuchs, Bodenbearbeitung und Düngung.

#### **Wiese**

Wiesen und extensiv genutztes Grünland gelten nach GRAFF (1983) als artenreichster landwirtschaftlich genutzter Standort. Die Artenzahl der Wiese betrug fünf Arten, im benachbarten Acker "Ofenloch" konnten drei Arten bestimmt werden. Zwei Arten, *L. terrestris* und *A. caliginosa*, kamen in beiden Standorten vor. Im Wiesenboden konnten zwei epigäische Formen, *Eisenia fetida* SAVIGNY (Mistwurm) und *Dendrodrilus [Dendrobaena] rubidus rubidus* SAVIGNY bonitiert werden, die in keinem der Ackerstandorte zu finden war. Epigäische Arten sind auf eine hohe Akkumulation an organischer Substanz an der Bodenoberfläche angewiesen und daher typische Grünlandarten. Das Vorkommen von *Eisenia fetida* überrascht, da diese Art fast nur in Mist- oder Komposthaufen zu finden ist (STRESEMANN et al. 1992). Es ist anzunehmen, dass diese Art durch die Ausbringung von Mist oder durch andere Übertragungswege (Schlepperreifen, Tiere) in den Wiesenstandort gelangte.

#### **Wald**

In einem angrenzenden Waldgebiet wurde die anözische Art *Octolasion cyaneum* SAVIGNY gefunden. Diese Art trat weder in einem der Ackerstandorte noch unter Wiese auf. Gleiche Beobachtungen liegen von HEMMANN (1994) vor, welche bei Untersuchungen im östlichen Harzvorland diese Art weder im Acker noch auf Streuobstwiesen nachweisen konnte, *O. cyaneum* aber in einem an die Beprobungsflächen angrenzenden Wäldchen fand. HEMMANN (1994) formulierte die Annahme "... ob es sich hier um ein Relikt gegenüber der Agrarlandschaft handelt, konnte aus der geringen Zahl der Untersuchungen nicht abgeleitet werden...". Dieser Erklärungsversuch kann durch die eigenen Ergebnisse gestützt werden.

## Untersuchungen zur abnehmenden Abundanz von Feldrain zur Feldmitte

### ***Wandertätigkeit***

Bei Untersuchungen der Ackerfläche "Schöne Aussicht" zum Regenwurmbesatz von Feldrain zur Feldmitte konnte eine deutlich abnehmende Individuendichte ermittelt werden. Feldraine bieten Regenwürmern ähnlich günstige Bedingungen wie die Wiesen und stellen Refugien in Agrarökosystemen dar (HEMMANN 1994).

WESTERNACHER-DOTZLER (1988) beobachtete bei Feldversuchen, dass sich Regenwürmer im oder auf dem Boden über weite Strecken zu Orten mit günstigeren Lebensbedingungen bewegen. Folglich können abnehmende Abundanzen vom Feldrand zum Feldinnern sowohl aus einer **Einwanderung** in das Feld, als auch aus einer **Abwanderung** aus dem Feld heraus resultieren. Für den beprobten Ackerstandort "Schöne Aussicht" kann aufgrund des Anbaus einer für Regenwürmer attraktiven Feldfrucht, wie Luzernekleegrass (vgl. Kap. 2.4.2) sowie einer länger zurückliegenden Grundbodenbearbeitung, mit großer Wahrscheinlichkeit von einer Einwanderung der Tiere in den Acker ausgegangen werden. WESTERNACHER-DOTZLER (1988) konnte beobachten, dass in Versuchsflächen, wo für Regenwürmer weniger bevorzugte Pflanzen im Randbereich angebaut wurden, auch weniger Tiere in die Versuchsfläche einwanderten. Diese Aussage stützt die Annahme der Zuwanderung aus angrenzenden Flächen in die "Schöne Aussicht", da die an den Acker angrenzenden Flächen (Wiese, Hecke, Wald) den Regenwürmern ein attraktives Nahrungsangebot bieten. Neben dem Ackerrain stellen die angrenzenden naturnahen Flächen Wald und Wiese **Refugien** für Regenwürmer dar und machen eine schnelle bzw. stärkere Einwanderung in den Acker möglich.

### ***Abnehmende Abundanzen***

Die Untersuchungen von Feldrain zur Feldmitte zeigen deutlich abnehmende Abundanzen. Gleiche Ergebnisse liegen von HEMMAN (1994) vor. Die Ergebnisse zeigen ebenso, dass mit größerer Distanz vom Rain der Regenwurmbesatz abnahm. In einem Untersuchungsjahr konnten von HEMMANN (1994) bis zu einer Entfernung von 18 m vom Feldrand noch zwei Individuen/0,25 m<sup>2</sup> nachgewiesen werden, in einem zweiten Untersuchungsjahr wurden bereits bei einer Entfernung von 4,50 m keine Regenwürmer mehr nachgewiesen. Im größeren Abstand war das Feld frei von Regenwürmern.

Diese Beobachtung wurden bei den eigenen Messungen nicht gemacht. Obwohl ein deutlicher Rückgang der Abundanz zu erkennen war, konnte bei einer Entfernung von 100 m vom Rain als niedrigster Regenwurmbesatz einer Stichprobe (0,10 m<sup>2</sup>) sechs Individuen erfasst werden, die maximalen Werte lagen bei einundzwanzig Individuen/0,10

m<sup>2</sup>. Betrachtet man die Individuenzahlen in den Randbereichen (Ackerrain) der Untersuchungen von HEMMANN (1994) und denen des Gladbacherhofs, fällt auf, dass in beiden Untersuchungen die Individuendichte in den Randbereichen um ein vielfaches höher liegt als im Feldinneren. HEMMANN (1994) zählte einen Besatz von 151 und 667 Ind./m<sup>2</sup>, die eigenen Untersuchungen zählten im Rain 338 Ind./m<sup>2</sup>. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass durch die hohe Individuendichte der Randbereiche eine Einwanderung in das Feld möglich ist und dass in beiden Fällen eine ähnlich starke Dynamik der Einwanderung zugrunde liegt. Dennoch unterscheiden sich die Individuenzahlen der beiden Untersuchungen im Feldinneren erheblich. Mögliche Ursachen für derartige Differenzen des abnehmenden Regenwurmbesatzes zur Feldmitte hin können in vielen Faktoren begründet liegen. Ausschlaggebend können auch hier die Unterschiede der konventionellen und ökologischen Wirtschaftsweise sein. Die weiten Fruchtfolgen des Gladbacherhofs mit dem Anfall von Wurzel- und Pflanzenresten versorgen den Boden durchgehend mit organischer Substanz, welche die wichtigste Nahrungsquelle der Lumbriciden darstellt. Die einseitigen Fruchtfolgen und der starke Marktfruchtanbau konventioneller Betriebe hingegen zerrt an den Vorräten organischer Bodensubstanz und entzieht den Bodentieren ihre Nahrungsgrundlage. Zudem wirken sich die reichhaltige Fruchtfolge, welche durch eine zwei- bis dreijährige Klee-graswiese geprägt ist, die Bodenbeschattung und Bodenruhe positiv auf das Bodenleben der Regenwürmer aus und bietet günstigere und attraktivere Verhältnisse.

Die angrenzenden **ökologischen Ausgleichsflächen** des Gladbacherhofs können, wie bereits erwähnt, eine stärkere Einwanderung der Tiere forciert haben. Da Populationen die Grundeigenschaft besitzen sich auszubreiten (SITTE et al. 1991), stellen attraktive angrenzende Flächen, wie sie im ökologischen Landbau durch die Anlage von Hecken und Feldgehölzen geschaffen werden, potentielle Einwanderungsquellen für Regenwürmer dar.

□

Das breite Artenspektrum, das Vorkommen von Vertretern aller ökologischen Gruppen sowie die ausgewogene Verteilung der Spezies in den Habitaten der ackerbaulich genutzten Flächen des Gladbacherhof ist ein Indiz für die langjährige ökologische Bewirtschaftung. Nach PFIFFNER (1997) sind Tierpopulationen in ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen durch eine höhere Artenvielfalt und durch eine ausgeglichene Artenverteilung charakterisiert. Einzelne Arten treten im Vergleich zu konventionellen Ackerflächen weniger in den Vordergrund, höhere Individuenzahlen in den konventionellen Flächen sind meist auf ein massenhaftes Auftreten weniger Arten zurückzuführen. Die hohe Diversität in ökologisch bewirtschafteten Agrarökosystemen zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass tiefgrabenden Arten, wie *Lumbricus terrestris*, zahlreicher vertreten sind (vgl. Kap.2.4.5). Da die praktische Bedeutung der Regenwürmer für die Bodenfruchtbarkeit unumstritten ist (EMMERLING 1999), lässt die große Artenvielfalt des Gladbacherhofs Rückschlüsse auf ein belebtes und aktives Bodenleben mit einem hohen Humusgehalt zu. Das Angebot an naturnahen Flächen wie Hecken, Feldraine, Brachgehölze, Wald und Wiesen leistet einen erheblichen Beitrag zur Förderung dieser biologischen Vielfalt. Die ökologischen Ausgleichsflächen des Gladbacherhofs ermöglichen die Ausbildung stabiler Biozöosen, stellen eine Einwanderungsquelle für Regenwürmer dar und leisten zudem einen wesentlichen Beitrag zur Förderung der biologischen Vielfalt (Biodiversität). Am Beispiel des Ackerstandortes "Schöne Aussicht" wird deutlich, dass die durch die Fruchtfolge gegebenen Bedingungen eine Einwanderung von Arten herbei führen können, die auch ein Überleben von "ackeruntypischen" Arten ermöglichen. Im Gegensatz zu der fortschreitenden Verarmung der Fruchtfolge konventioneller Betriebe bietet die ausgewogene und reichhaltige Fruchtfolge des Gladbacherhofs den Lumbriciden eine ständige Nachlieferung an organischer Substanz und sichert somit ihre Nahrungsgrundlage.

## 6 Zusammenfassung

Auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb für ökologischen Landbau der Justus-Liebig Universität Giessen, Gladbacherhof, wurden im Frühjahr und Herbst 2001 Untersuchungen zu Regenwurmpopulationen durchgeführt. Analysiert wurden acht ausgewählte Ackerstandorte (Dauertestflächen). Vergleichende Beobachtungen naturnaher Habitats fanden außerdem in Wald, Wiese und Ackerrain statt. Der Regenwurmfang fand mittels der Handauslese statt. Je Standort (Dauertestflächen) wurden acht Wiederholungen durchgeführt. Beprobte wurde jeweils eine Fläche von 1/10 m<sup>2</sup> bis in eine Tiefe von 50 cm. Es erfolgte eine Charakterisierung der Individuen nach Artenspektrum, Abundanz, Biomasse, Altersstruktur und Dominanzstruktur.

Insgesamt wurden 12 Lumbricidenarten gefunden. Die häufigsten Spezies der Dauertestflächen waren die endogäische Arten *Aporrectodea icterica* SAVIGNY (27 %), *Aporrectodea caliginosa* SAVIGNY (27 %) und die anözische Art *Lumbricus terrestris* LINNE (23 %). Die Ackerstandorte erwiesen sich mit einem Vorkommen von bis zu sieben Arten als artenreich und zeichneten sich durch einen hohen Anteil der anözischen Art *L. terrestris* aus. Für die acht Ackerflächen ließen sich durchschnittliche Abundanzen von 51 Individuen/m<sup>2</sup> mit einer Biomasse von 41 g/m<sup>2</sup> nachweisen. Unter Wiese wurde eine Aktivitätsdichte von 189 Individuen/m<sup>2</sup> mit einer Biomasse von 68 g/m<sup>2</sup> ermittelt. Der durchschnittliche Anteil juveniler Tiere lag unter Ackernutzung bei 47 %, unter Wiesennutzung bei 75 %.

Vom Feldrain zur Feldmitte wurden deutlich abnehmende Abundanzen ermittelt. Ein völliges Verschwinden der Regenwürmer mit zunehmendem Abstand von Feldrain, wie unter konventioneller Bewirtschaftung mitunter zu beobachten, wurde nicht festgestellt.

## 7 Literaturverzeichnis

- BAUCHHENS, J. (1983): Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Bodenfauna. KALI-Briefe (Büntehof) **16**, 529 – 548.
- BAUCHHENS, J. (1991): Vergleichende Untersuchungen der Individuendichte, Biomasse, Artendichte und Diversität von Regenwurmpopulationen auf konventionell und alternativ bewirtschafteten Flächen. Bayer. Landw. Jahrbuch **68**, 430 - 443.
- BAUCHHENS, J. (2001): Die Bedeutung der Bodenorganismen für die Bodenfruchtbarkeit.  
[http://www.stmlf.bayern.de/lbp/info/umwelt/boden/boden4\\_2.pdf](http://www.stmlf.bayern.de/lbp/info/umwelt/boden/boden4_2.pdf)
- BIERI, M. & G. CUENDET (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. Landw. Fo. Recherche agronom. en Suisse **28** (2), 81 - 96.
- BLUME, H.-P.; BODE, M.; ELSNER, D.-CH.; FREY, D.; VICTORINO, S. C. & N.-A. WAHL (1995): Leistungen der Bodenorganismen unter dem Einfluß von Bodenbearbeitung und Düngung. Schriftenreihe der Agrarwiss. Fakultät der Univ. Kiel **78**, 189 – 199.
- BOSTRÖM, U. (1988): Ecology of earthworms in arable land. Population dynamics and activity in four cropping systems. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- BOUCHÉ, M. B. (1977): Stratégies lombriciennes. In: LOHM, U. & T. PERSSON (Hrsg.): Soil organisms as components of ecosystems. Ecological Bulletins **25**, 122 - 132.
- BUTT, K. R. (1991): The effects of temperature on the intensive production of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae). Pedobiologia **35**, 257 – 264.
- CHRISTIAN, E. & A. ZICSI (1999): Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae). Die Bodenkultur **50** (2), 121 -131.
- CHRISTENSEN, O. (1988): Lumbricid earthworms as bio-indicators relative to soil factors. In: 10th Int. Soil. Zool. Coll. 1988, Bangalore, India, 839 - 849.
- CURRY (1994): Ecology, influence on soil fertility and effects on plant growth. Chapman & Hall, London - New York.
- DANIEL, O.; JAGER, P.; CUENDET, G. & M. BIERI (1992): Sampling of *Lumbricidus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). Pedobiologia **36**, 213 – 220.
- DUNGER, W. (1964): Tiere im Boden. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.

- DUNGER, W. & H. J. FIEDLER (1997) (Hrsg.): Methoden der Bodenbiologie. 2. neubearbeitete Auflage. Gustav Fischer Verlag Jena, 422 - 429.
- EDWARDS, C.A. & P.J. BOHLEN (1996): Biology and Ecology of Earthworms. Third edition, Chapman & Hall, London.
- EHRMANN, O. & U. BABEL (1991): Quantitative Regenwurmerfassung-ein Methodenvergleich. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. **66**, 475 - 478.
- EMMERLING, C (1999): Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit mit Hilfe der Bodenbiologie. Ökologie und Landbau **110**, 16-17.
- FRIEBE, B & W. HENKE (1991): Bodentiere und deren Strohabbauleistung bei reduzierter Bodenbearbeitung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **32**, 121 - 126.
- FRIEBE, B. & W. HENCKE (1992): Regenwürmer und deren Abbauleistung bei abnehmender Bearbeitungsintensität. In: FRIEBE, B. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden, Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Giessen, 139 – 145.
- FRIEBE, B. (1992): Entwicklung der Makro- und Mesofauna unter dem Einfluß langfristig differenzierter Bodenbearbeitung. In: FRIEBE, B. (Hrsg.): Wechselwirkungen und Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden, Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Giessen, 117 – 130.
- GERARD (1967): Factors affecting earthworms in pasture. J. Anim. Ecol., **36**, 235-252.
- GRAFF, O. (1953): Die Regenwürmer Deutschlands. Ein Bilderatlas für Bauern, Gärtner, Forstwirte und Bodenkundler. Schriftenreihe der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode **7**, Verlag M. u. H. Schaper, Hannover.
- GRAFF, O. (1983): Unsere Regenwürmer. Lexikon für Freunde der Bodenbiologie. Verlag M. u. H. Schaper, Hannover.
- HAMPL, U. (1999): Den Boden ins Bewusstsein rücken. Ökologie und Landbau, **110**, 2-3.
- HARTGE, K.H. & C. SOMMER (1980): The effect of geometric patterns of soil structure on compressibility. Soil Sci. **130**, 180 - 185.
- HEISLER, C. (1998): Beeinflussung der biologischen Aktivität durch Bodenbearbeitung und Fruchtfolge. Agribiol. Res. **51**, 289 – 297.
- HEISLER, C. & J. BRUNOTTE (1998): Beurteilung der Bodenbearbeitung mit Pflug und der Konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der biologischen Aktivität mittels des Köderstreifen-Tests nach von Törne sowie der Populationsdichte von Collembolen und Raubmilben. Landbauforschung Völkenrode **2**, 78 - 85.
- HEISLER C., ROGASIK, H., BRUNOTTE, J. & M. JOSCHKO (1998): Konservierende Bodenbearbeitung und biologische Aktivität. Landbauforschung Völkenrode **4**, 199 - 212.

- HEMMANN, C. (1994): Untersuchungen zum Bestand an Lumbriciden in ackerbaulich genutzten Böden und deren Randbereichen. Dissertation, Agrarwissenschaften, Universität Halle.
- HEMMANN, C. & G. LEITHOLD (1994): Regenwurmpopulationen in ackerbaulich genutzten Flächen und deren Randbereichen. Östliches Harzvorland. Korean Journal of Organic Agriculture **3**, 23 – 42.
- HERRMANN, G. & G. PLAKOLM (1991): Ökologischer Landbau. Grundwissen für die Praxis. Verlagsunion Agrar.
- HOFFMANN, G. (1991): Methodenbuch Band 1. Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage, VDLUFA – Verlag – Darmstadt.
- HOOGERKAMP, M.; ROGAAR, H. & H.J.P. EIJSACKERS (1983): Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In: SATCHELL, J. E. (ed.): Earthworm ecology. From Darwin to Vermiculture. Chapman and Hall, London, New York, 85 - 105.
- JOSCHKO, M. (1989): Einfluss der Regenwürmer (Lumbricidae) auf verdichteten Boden. Modellversuche. Dissertation, Naturwissenschaften, Technische Universität Braunschweig.
- JOSCHKO, M.; AUGUSTIN, J.; ROGASIK, H.; WIRTH, S. & J. BRUNOTTE (2001): Aufgaben, Funktion und Leistungen der Bodenlebewesen bei differenzierter Bodenbearbeitung. <http://wwwso.uni-paderborn.de/.../Vortraege/1T%20Joschko.html> (Stand 03.11.2001).
- KNÜSTING, E. & G. BARTELS (1994): Einfluss unterschiedlich hoher Intensitäten acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Populationsdichte der Regenwürmer. Mitteilung aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **295**, 192 – 229.
- KRÜCK, S.; NITZSCHE, O. & W. SCHMIDT (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. Landwirtschaft ohne Pflug **1**, 18 - 21.
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G. & G. SCHWERDTFEGGER (1994): Bodenkunde. 5. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- LEE, K. E. (1985): Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Australia.
- LÜTKE ENTRUP, N. & J. OEHMICHEN (Hrsg.) (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- MÄDER, P. (1997): Erhöhte bodenmikrobiologische Aktivität durch ökologischen Landbau. In: WEIGER H. & H. WILLER (Hrsg.): Naturschutz durch ökologischen Landbau. DEUKALION Verlag, Holm 1997, 49-92.

- MEINHARDT, U. (1973): Vergleichende Beobachtungen zur Laboratoriumsbiologie einheimischer Regenwurmartens. *Z. angew. Zool.* **60**, 233 – 255.
- MÜLLER, H. J. (Hrsg.) (1986): Bestimmung wirbelloser Tiere im Gelände. Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 17 – 18.
- NORDSTRÖM, S. & S. RUNDGREN (1974): Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiologia* **14**, 1 - 27.
- PAPAJA, S. & K.-J. HÜLSBERGEN (2000): Die Entwicklung von Regenwurmpopulationen unter dem Einfluss der Bewirtschaftungseinstellung. In: HÜLSBERGEN, K.-J. & W. DIEPENBROCK (Hrsg.): Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. Halle 2000, 108 – 122.
- PETERS, W. & WALLDORF, V. (1986): Der Regenwurm – *Lumbricus terrestris* L. Eine Praktikumsanleitung. Quelle & Meyer, Heidelberg - Wiesbaden, 9 – 12.
- PIFFNER, L. (1993): Einfluß langjährig ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung auf Regenwurmpopulationen. (Lumbricidae). *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **156**, 259 - 265.
- PIFFNER, L. (1997): Welchen Beitrag leistet der ökologische Landbau zur Förderung der Kleintierfauna?. In: WEIGER H. & H. WILLER (Hrsg.): Naturschutz durch ökologischen Landbau. DEUKALION Verlag, Holm 1997, 93 - 120.
- PIFFNER, L. & P. MÄDER (1997): Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Biol. Agriculture and Horticulture*
- PIFFNER, L. & H. LUKA (2002): Naturnahe Flächen mit Biolandbau kombinieren. *Ökologie und Landbau* **122**, 28 – 29.
- SCHÖPKE K. (2001): Humusformen und Regenwurmfauna auf ausgewählten Waldböden Bayerns. <http://www.lwf.uni-muenchen.de/veroef/veroef99/lwfber18/lwfb18c.htm>
- SITTE, P.; ZIEGLER, H.; EHRENDORF, F. & A. BRESINSKY (1991): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - Jena - New - York, 867 – 884.
- STOCKFISCH, N.; EHLERS, W. & U. EBERHARDT (1995): Einfluß reduzierter Bodenbearbeitung auf biologische und chemische Kennwerte in verschiedenen Tiefen einer Löß-Parabraunerde. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **76**, 697 - 700.
- STOCKFISCH, N. (1997): Strohabbau durch Mikroorganismen und Regenwürmer in zwei Bodenbearbeitungssystemen. Dissertation, Agrarwissenschaften, Universität Göttingen. Verlag Dr. Kovac (Schriftenreihe agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse ; Bd.5), Hamburg.

- STORCH, V. & U. WELSCH: Systematische Zoologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York, 204 - 208.
- STRESEMANN, E. (1992): Exkursionsfauna von Deutschland. Band 1, Wirbellose (ohne Insekten). Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin, 367 – 371.
- THIELEMANN, U. (1986 a): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. *Pedobiologia* **29**, 296 – 302.
- THIELEMANN, U. (1986 b): Glasröhrchenmethode zur Lebendbestimmung von Regenwürmer. *Pedobiologia* **29**, 341 – 343.
- TRÄNKLE, L. (2001): Der Regenwurm. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/regenwurm.htm> (Stand 03.12.2001).
- WERNER, M. R. (2001): Earthworm ecology and sustaining agriculture. <http://www.sarep.ucdavis.edu/worms/werner.htm> (Stand 17.12. 2001).
- WESTERNACHER – DOTZLER, E. (1988): Abundanz von Regenwürmern (Lumbricidae, Oligochaeta) unter verschiedenen Kulturpflanzen. Diss. Universität Giessen, Giessener Bodenkundliche Abhandlungen **4**.
- WILCKE D. (1955): Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Analyse des Regenwurmbesatzes bei zoologischen Bodenuntersuchungen. *Z. Pflanzenern. Düngung. Bodenk.* **68**, (113), 44-49.
- ZICSI, A. (1958): Freilanduntersuchungen zur Kenntnis der Empfindlichkeit einiger Lumbricidenarten gegen Trockenperioden. *Acta Zoologica* **3**, 369-383.

## 8 Anhang

Tabelle A 1: Regenwurmabundanz (Ind.) und Regenwurmbiomasse (g) der einzelnen Ackerflächen getrennt nach adulten und juvenilen Entwicklungsstadien

	Standort	Eisensteinfeld 2	Schöne Aussicht	Langes Gewann 2	Kreuz
<b>Art (Ind.)</b>	L.rubellus		7		
	L.castaneus		1		
	D. rubidus				
	E.fetida				
	A.caliginosa		4	12	
	A.icterica	12	5		10
	A.rosea	19	2		
	A. clorotica		2		
	O. lacteum			7	
	L. terrestris	9	7		17
	A. longa				3
	O. cyaneum				
	<b>adult</b>	<b>40</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>30</b>
	<b>juvenil</b>	<b>51</b>	<b>31</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
	<b>adult+juveni I</b>	<b>91</b>	<b>59</b>	<b>31</b>	<b>46</b>
<b>Biomasse (g)</b>	adult	49,194	29,838	19,42	42,613
	juvenil	12,77	7,5	9,94	12,48
	adult + juvenil	61,964	37,338	29,36	55,093

	Standort	Langes Gewann 1	Eisensteinfeld 1	Über der Koppel	Ofenloch	Gesamt
<b>Art (Ind.)</b>	L.rubellus					
	L.castaneus					
	D. rubidus					
	E.fetida					
	A.caliginosa	13	13	9	7	
	A.icterica	7	7	7	11	
	A.rosea					
	A. chlorotica	7				
	O. lacteum					
	L. terrestris	12	2		3	
	A. longa					
	O. cyaneum					
	<b>adult</b>	<b>39</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>215</b>
	<b>juvenil</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>191</b>
	<b>adult+juvenil</b>	<b>69</b>	<b>39</b>	<b>25</b>	<b>46</b>	<b>406</b>
<b>Biomasse (g)</b>						
	adult	16,864	39,47	20,48	16,74	<b>234,619</b>
	juvenil	22,96	13,72	4,55	9,12	<b>93,04</b>
	adult+juvenil	39,824	53,19	25,03	25,86	<b>327,659</b>

Tabelle A 2: Arten \* Fläche Kreuztabelle (SPSS).

Arten * Fläche Kreuztabelle			Fläche	
			Eisensteinfeld 2	Schöne Aussicht
<b>Arten</b>	L.rubellus	Anzahl		7,00
		% von Arten		100,00
		% von Fläche		25,00
	L.castaneus	Anzahl		1,00
		% von Arten		100,00
		% von Fläche		3,57
	A.caliginosa	Anzahl		4,00
		% von Arten		6,90
		% von Fläche		14,29
	A.icterica	Anzahl	12,00	5,00
		% von Arten	20,34	8,50
		% von Fläche	30,00	17,86
	A.rosea	Anzahl	19,00	2,00
		% von Arten	90,50	9,49
		% von Fläche	47,50	7,14
	A.chlorotica	Anzahl		2,00
		% von Arten		22,22
		% von Fläche		7,14
	O.lacteum	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.terrestris	Anzahl	9,00	7,00
		% von Arten	18,00	14,00
		% von Fläche	22,50	25,00
	A.longa	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
<b>Gesamt</b>		Anzahl	40,00	28,00
		% von Arten	18,60	13,02
		% von Fläche	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Arten * Fläche Kreuztabelle			Fläche	
			Langes Gewann 2	Kreuz
<b>Arten</b>	L.rubellus	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.castaneus	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.caliginosa	Anzahl	12,00	
		% von Arten	20,69	
		% von Fläche	63,16	
	A.icterica	Anzahl		10,00
		% von Arten		16,95
		% von Fläche		33,33
	A.rosea	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.chlorotica	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	O.lacteam	Anzahl	7,00	
		% von Arten	100,00	
		% von Fläche	36,84	
	L.terrestris	Anzahl		17,00
		% von Arten		34,00
		% von Fläche		56,67
	A.longa	Anzahl		3,00
		% von Arten		100,00
		% von Fläche		10,00
<b>Gesamt</b>		Anzahl	19,00	30,00
		% von Arten	8,84	13,95
		% von Fläche	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Arten * Fläche Kreuztabelle			Fläche	
			Langes Gewann 1	Eisensteinfeld 1
<b>Arten</b>	L.rubellus	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.castaneus	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.caliginosa	Anzahl	13,00	13,00
		% von Arten	22,41	22,41
		% von Fläche	33,33	59,09
	A.icterica	Anzahl	7,00	7,00
		% von Arten	11,49	11,86
		% von Fläche	17,95	31,82
	A.rosea	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.chlorotica	Anzahl	7,00	
		% von Arten	77,78	
		% von Fläche	17,95	
	O.lacteum	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.terrestris	Anzahl	12,00	2,00
		% von Arten	24,00	4,00
		% von Fläche	30,77	9,09
	A.longa	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
<b>Gesamt</b>		Anzahl	39,00	22,00
		% von Arten	18,14	10,23
		% von Fläche	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Arten * Fläche Kreuztabelle			Fläche	
			Über der Koppel	Ofenloch
<b>Arten</b>	L.rubellus	Anzahl		

		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.castaneus	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.caliginosa	Anzahl	9,00	7,00
		% von Arten	15,52	12,07
		% von Fläche	56,25	33,33
	A.icterica	Anzahl	7,00	11,00
		% von Arten	11,86	18,64
		% von Fläche	43,75	52,38
	A.rosea	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	A.chlorotica	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	O.lacteum	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
	L.terrestris	Anzahl		3,00
		% von Arten		6,00
		% von Fläche		14,29
	A.longa	Anzahl		
		% von Arten		
		% von Fläche		
<b>Gesamt</b>		Anzahl	16,00	21,00
		% von Arten	7,44	9,77
		% von Fläche	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Arten * Fläche Kreuztabelle		Fläche	
			Gesamt

<b>Arten</b>	L.rubellus	Anzahl <sup>1.)</sup>	7,00
		% von Arten <sup>2.)</sup>	100,00
		% von Fläche <sup>3.)</sup>	3,20
	L.castaneus	Anzahl	1,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	0,40
	A.caliginosa	Anzahl	58,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	26,97
	A.icterica	Anzahl	59,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	27,44
	A.rosea	Anzahl	21,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	9,76
	A.chlorotica	Anzahl	9,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	4,19
	O.lacteum	Anzahl	7,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	3,25
	L.terrestris	Anzahl	50,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	23,26
	A.longa	Anzahl	3,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	1,39
<b>Gesamt</b>		Anzahl	215,00
		% von Arten	100,00
		% von Fläche	<b>100,00</b>

<sup>1.)</sup> **Anzahl:** Anzahl der Individuen einer Art

<sup>2.)</sup> **% von Arten:** prozentualer Anteil einer Art in allen acht Ackerstandorten

<sup>3.)</sup> **% von Fläche:** prozentualer Anteil einer Art gemessen an der gesamten Regenwurmpopulation aller acht Habitate