

UBA-Fachgespräch „Bodenbiodiversität und der gute ökologische Zustand terrestrischer Ökosysteme“, Berlin, 6. März 2013

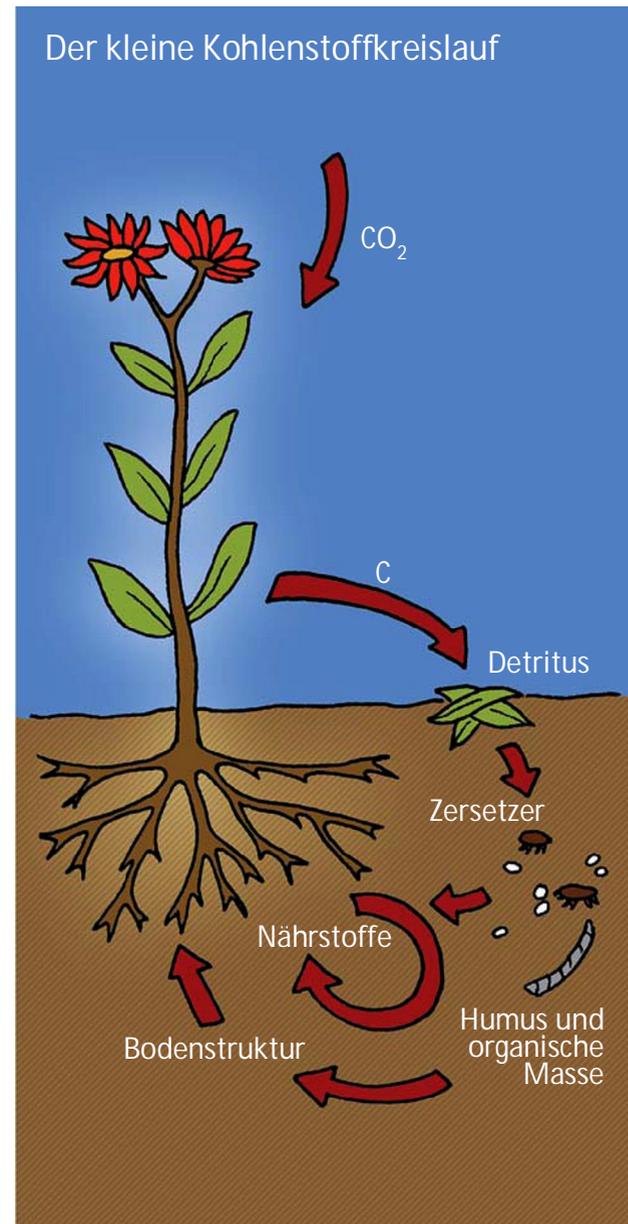
Monitoring und Bewertung des biologischen Bodenzustands im Kontext von Integritäts-Leitbildern

Ulfert Graefe und Anneke Beylich

IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Hamburg

Wichtige Organismengruppen der
Bodenbiozönose
Artenzahlen für Deutschland geschätzt

Organismengruppe	Artenzahl
Lumbricidae	40
Isopoda	50
Chilopoda	50
Diplopoda	150
Enchytraeidae	200
Collembola	500
Oribatida	600
Gamasina	1000
Nematoda	10000
Mikroorganismen	???????



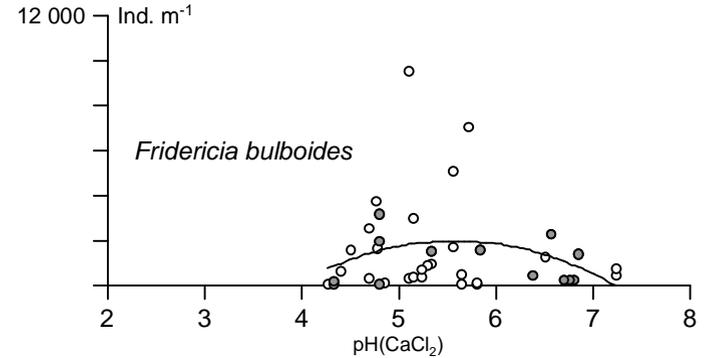
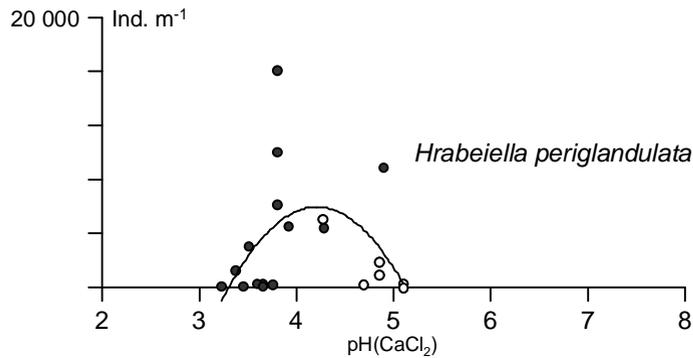
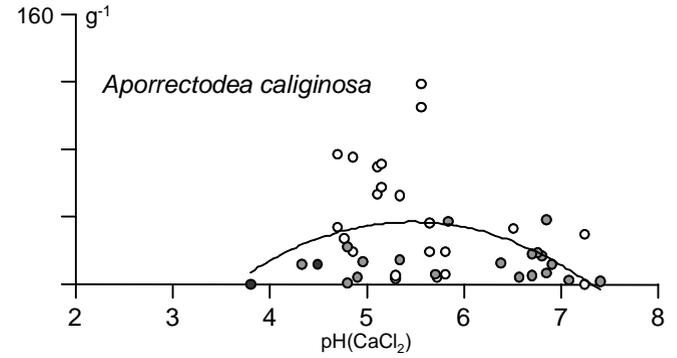
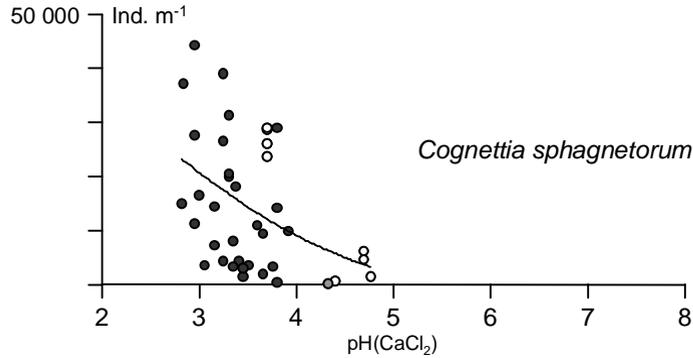
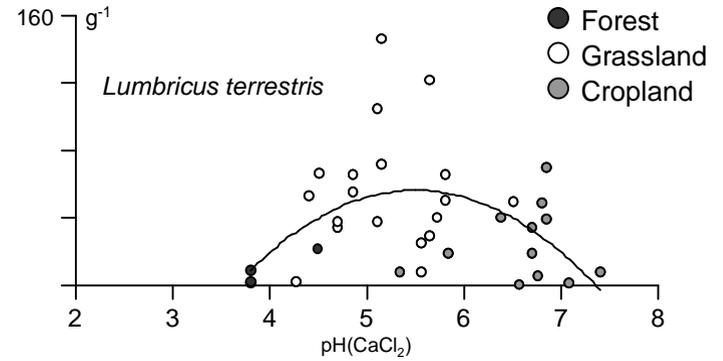
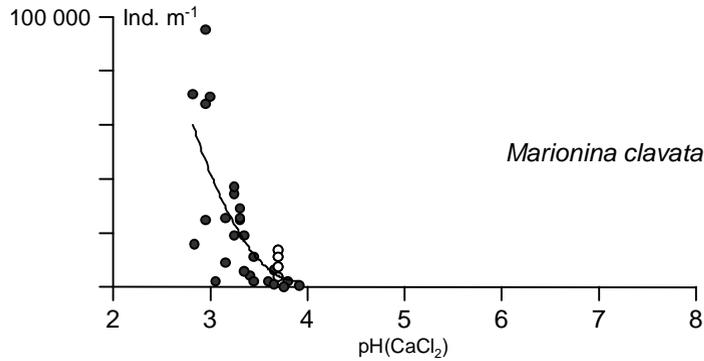
Adapted from De Deyn & Van der Putten 2005 and EC 2011

Flächenbezogene Datenauswertung der bodenzoologischen Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Parameter	Indikatorfunktion
Gesamtabundanz der Regenwürmer (Ind./m ²), Gesamtbiomasse der Regenwürmer (g/m ²), Gesamtabundanz der Kleinringelwürmer (Ind./m ²)	Bodenzoologische Indikatoren der biologischen Aktivität im Boden
Artenzusammensetzung und Artenzahl, Abundanz, Dominanz und Frequenz der Arten	Bodenzoologische Indikatoren der Biodiversität im Boden
Vertikalverteilung der Kleinringelwürmer: insgesamt sowie auf Gattungs- und Artebene	Zeiger für die vertikale Ausdehnung und Stärke der biologischen Aktivität
Biomasse und Biomassedominanz der Regenwurmart	Zeiger für die ökologische Bedeutung der Arten
Funktionelle Kennwerte der Lebensgemeinschaft: Lebensformtypen- und Strategietypen-Spektren, Zeigerwert-Spektren und mittlere Zeigerwerte, Zersetzergesellschaftstyp	Indikatoren für den biologischen Bodenzustand bzw. die integrale Wirkung ökologischer Faktoren auf die Bodenbiozönose

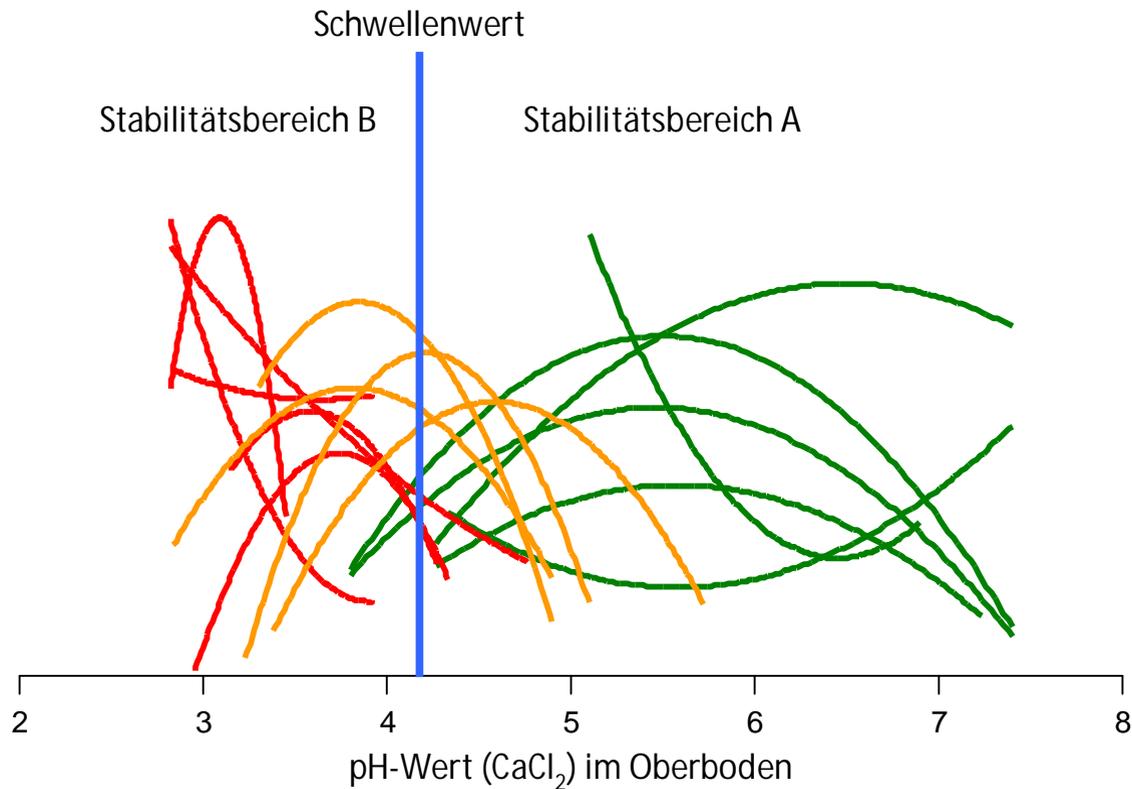
Graefe et al. 2001

Occurrence of species (microannelids and earthworms) along the gradient of soil pH

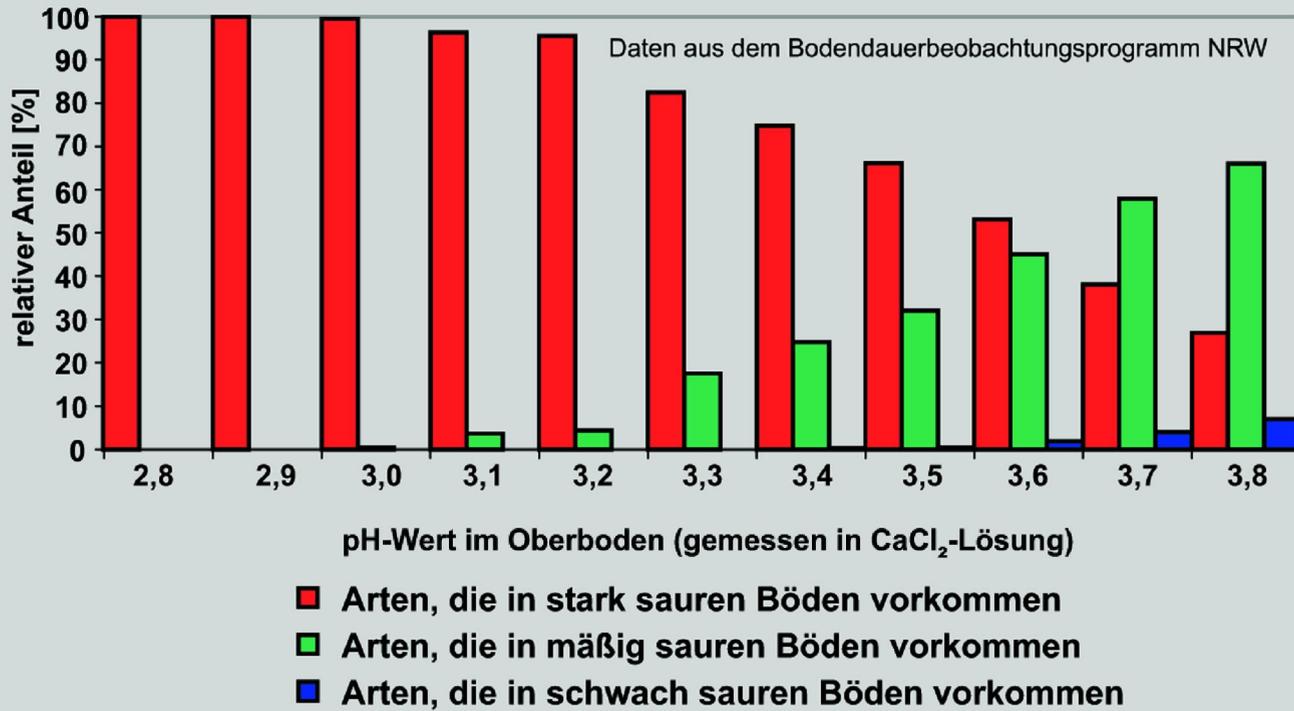


Graefe & Beylich 2003

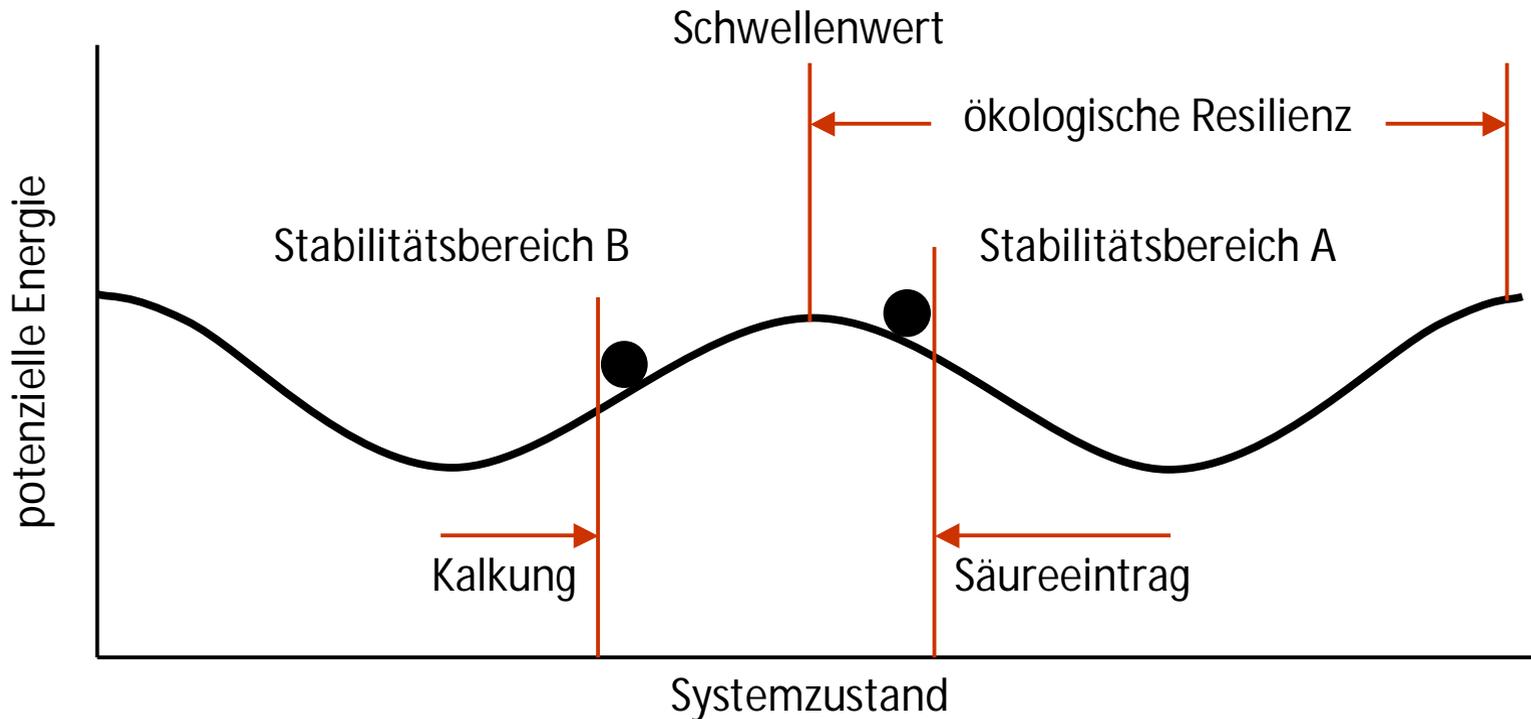
Vorkommen von Annelidenarten (Regenwürmer und Kleinringelwürmer) auf dem Gradienten der Bodenreaktion



Einfluss des pH-Werts auf die Artenzusammensetzung von Kleinringelwürmern in Waldböden



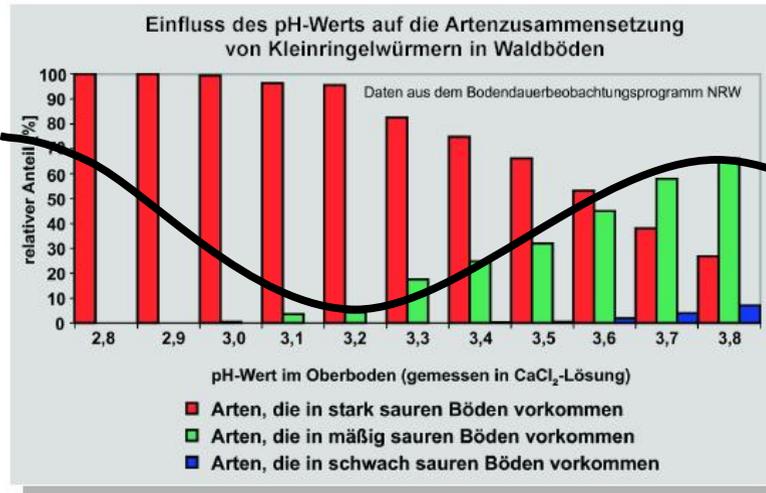
Quelle: LUA-Info 13 (2003)



Zwei Stabilitätsbereiche der Bodenbiozönose auf dem Gradienten der Bodenreaktion

Graefe 2003

Modellvorstellung der ökologischen Resilienz mit zwei "basins of attraction" entlang dem Gradienten der Bodenreaktion. Saurer Regen als eine chronische Belastungsstörung ("press disturbance"), oder in umgekehrter Richtung eine Kalkung, kann zu einer graduellen Verschiebung der Artenzusammensetzung innerhalb des gleichen Stabilitätsbereiches führen. Bei Überschreitung der ökologischen Resilienz kippt das System in einen neuen Bereich mit anderer Artenzusammensetzung. Der Stabilitätsbereich A entspricht einer Bodenbiozönose, in der endogäische und anecische Regenwürmer als "drivers" fungieren und sich Mull-Humusformen ausbilden. Verschwinden diese Arten, entstehen Auflage-Humusformen (B).



Systemzustand

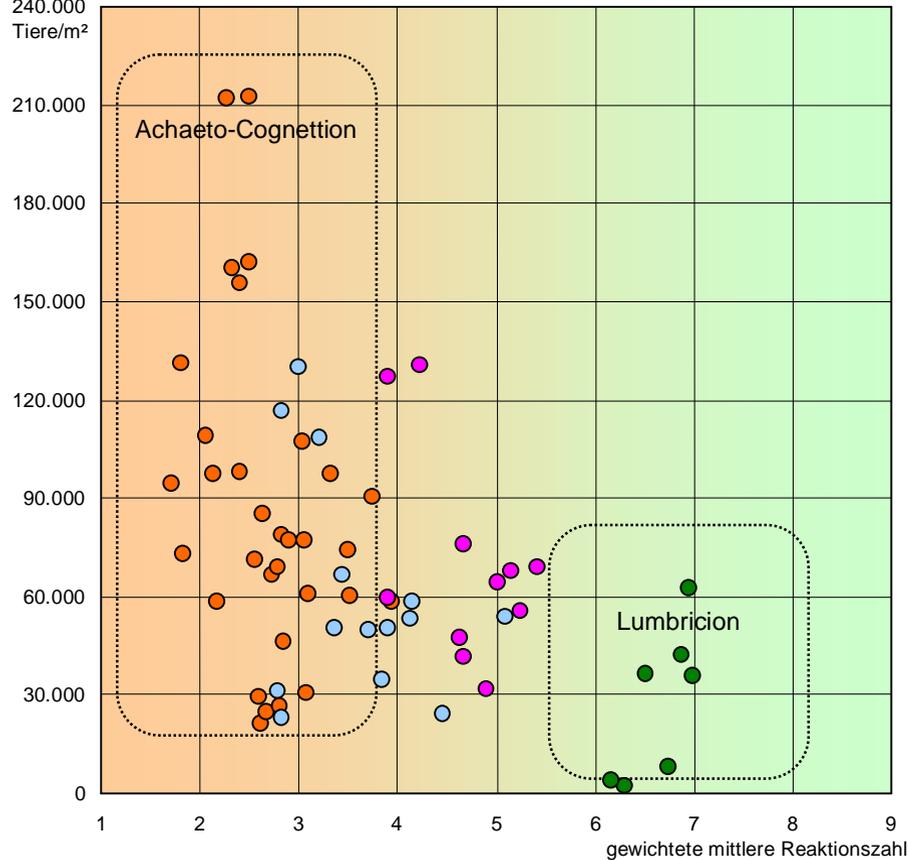
Einordnung der gemessenen Werte in das Modell von zwei resilienten Stabilitätsbereichen der Bodenbiozönose auf dem Gradienten der Bodenreaktion.

Biologischer Bodenzustand von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen

Ökogramm aus der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer und der gewichteten mittleren Reaktionszahl der Annelidenzönose

Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer

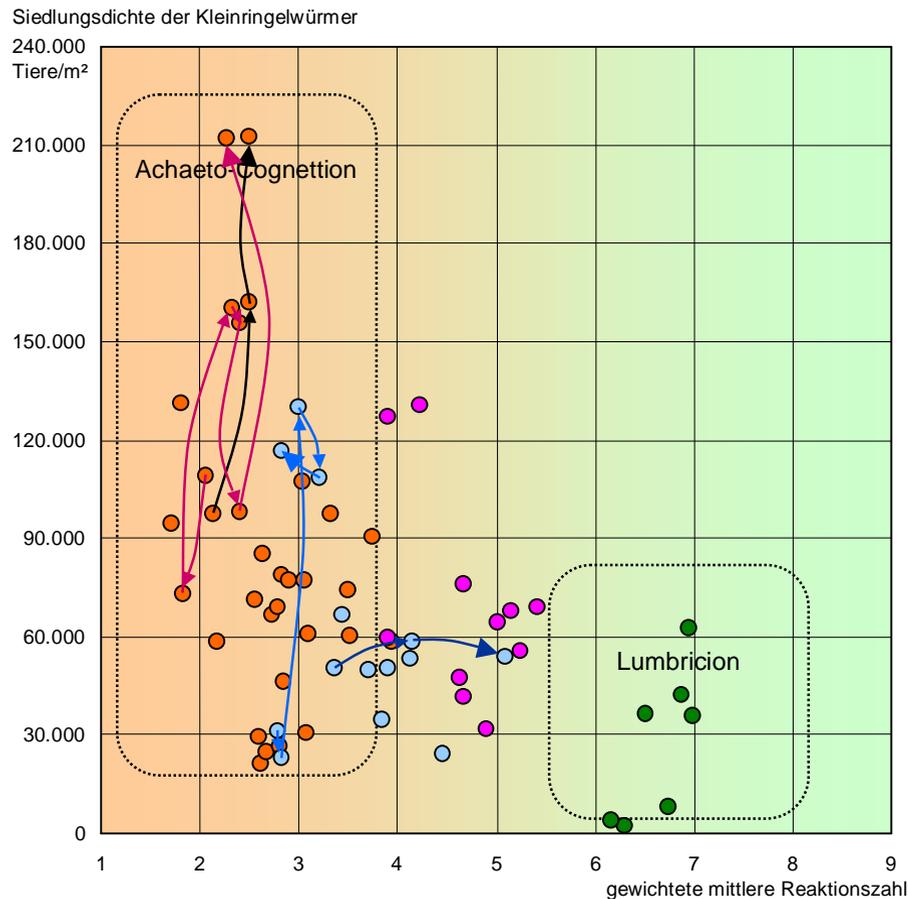
240.000
Tiere/m²



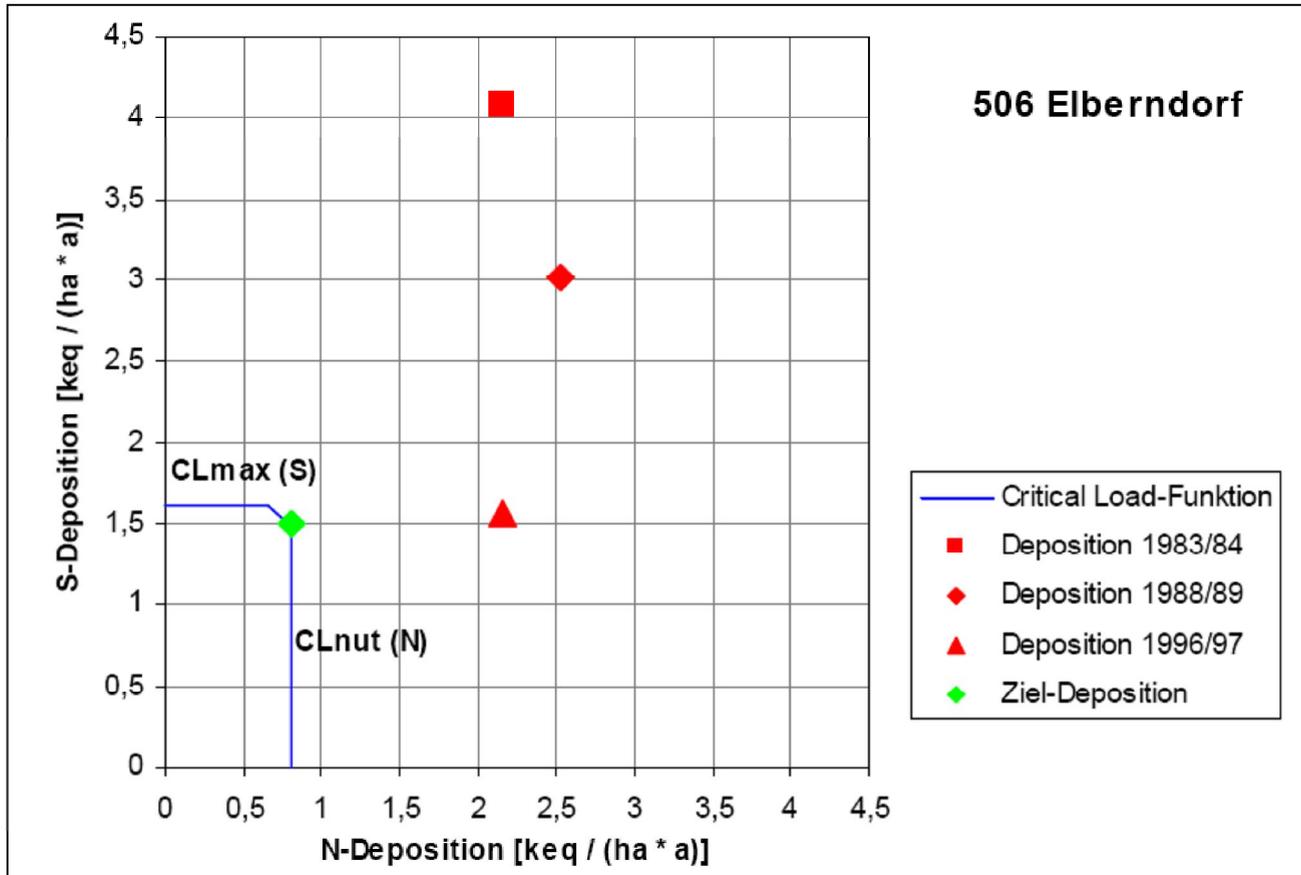
- Stark saure Waldstandorte ungekalkt
- Bodenschutzkalkungen stark saurer Waldstandorte
- Grünland und Waldstandort auf Kalkverwitterungslehm
- Versauerte Waldstandorte auf basenreichen Substraten

Biologischer Bodenzustand von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen

Ökogramm aus der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer und der gewichteten mittleren Reaktionszahl der Annelidenzönose



- Stark saure Waldstandorte ungekalkt
 - Bodenschutzkalkungen stark saurer Waldstandorte
 - Grünland und Waldstandort auf Kalkverwitterungslehm
 - Versauerte Waldstandorte auf basenreichen Substraten
- Zeitreihen
Monat/Jahr
- Lammersdorf Fichte
11/1997, 11/2002, 11/2007
 - Elberndorf Fichte
11/1988, 11/1989, 11/1995(2), 11/2000, 11/2005
 - Elberndorf Fichte gekalkt
11/1988, 11/1989, 11/1995, 11/2000, 11/2005
 - Castrop-Rauxel gekalkt
9/1998, 9/2003, 10/2008



Überschreitung der Critical Loads durch die Schwefel- und Stickstoffdeposition der Jahre 1983/84, 1988/89 und 1996/97 am Beispiel des Standorts Elberndorf

Gehrmann 2002

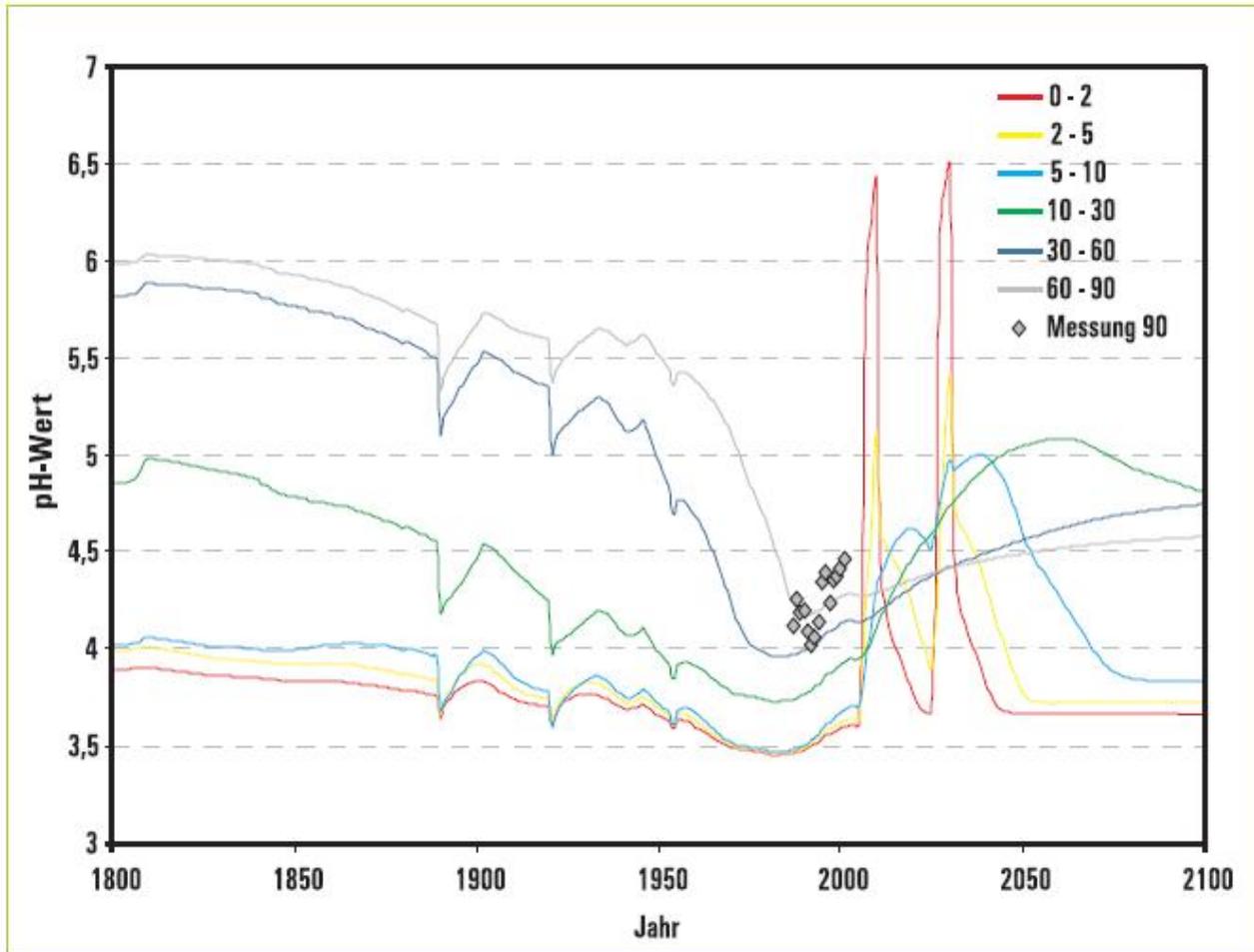


Abb. 4: Entwicklung des pH-Wertes der Bodenlösung für den Standort Elberndorf auf Basis der Emissionsminderungen nach Göteborg-Protokoll sowie von zwei aufeinanderfolgenden Bodenschutzkalkungen von je $58 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Becker & Gehrman 2003

BDF		1/4	1/1	1/5	1/7	1/3	1/14	1/2	1/10	1/12	1/11	1/13	2/1	1/9	1/6	1/8	2/2
Untersuchungsjahr		VEL	LAF	ELB	HAA	REH	EWI	TAN	ESS	CAR	BOT	LAB	MAT	DUS	GLI	SCH	BIE
		95	97	95	95	96	99	95	97	98	98	99	97	96	96	96	96
Regenwürmer		F	R	Makrofauna-Abundanzklasse													
<i>Allolobophoridella eiseni</i>	x	x							1								
<i>Lumbricus rubellus</i>	x	x	1		1			1		1	2	1	2	2	1	2	2
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	x	x				1			1	2	3	1	1	3		1	
<i>Dendrobaena octaedra</i>	x	4	2		2		2	1	2	1	2		3	3	2		1
<i>Dendrobaena attemsi</i>	5	5							3	4				4			
<i>Dendrobaena pygmaea</i>	5	6											2				
<i>Lumbricus castaneus</i>	x	7														1	1
<i>Lumbricus terrestris</i>	5	7														1	3
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	x	7									1				1	2	
<i>Octolasion cyaneum</i>	x	7														1	
Kleinringelwürmer		Mesofauna-Abundanzklasse															
<i>Marionina clavata</i>	5	1	5	5	5	2	3	3	3	4	2	3	2	1			2
<i>Achaeta brevivasa</i>	5	1	3		3					2	1						
<i>Cognettia sphagnetorum</i>	x	2	4	4	5	3	3	3	3	3	2	3	4	3	3	1	
<i>Achaeta sp. (amel)</i>	5	2				4				1				1			
<i>Achaeta camerani</i>	5	3		3	5	5	3	3	4	4	3	5	4	3	4		4
<i>Achaeta aberrans</i>	5	3			1	1		1	1	2	2	2	1	1			
<i>Mesenchytraeus pelicensis</i>	5	3	1	1	1				1	1						1	1
<i>Achaeta monicae</i>	5	3		3					5								
<i>Achaeta danica</i>	5	3			1											3	
<i>Achaeta affinoides</i>	5	4				1	1		3	4	1	4	5	4		3	
<i>Oconnorella cambrensis</i>	5	4			4		1	2	4	3	2	1	4	1		4	3
<i>Cognettia cognettii</i>	x	4									2					2	1
<i>Mesenchytraeus glandulosus</i>	5	5		2	1	1	1		1	1	1	1				1	2
<i>Enchytraeus norvegicus</i>	5	5								1			2	1		2	1
<i>Achaeta abulba</i>	5	5							1					1			
<i>Achaeta bifollicula</i>	5	5								1			1	2			
<i>Achaeta sp. (glin)</i>	5	5														3	2
<i>Marionina simillima</i>	6	5									2						
<i>Fridericia striata</i>	x	6				1		1		2	1			2			
<i>Hrabeiella periglandulata</i>	5	6									1	1	1	1		3	3
<i>Enchytronia sp. (sept)</i>	5	6										1	1	1		2	2
<i>Enchytronia parva</i>	5	6										1				2	3
<i>Oconnorella tubifera</i>	5	6											2	2			
<i>Stercutus niveus</i>	5	7														3	1
<i>Achaeta dzwilloi</i>	5	7															3
<i>Buchholzia appendiculata</i>	x	7															1
<i>Enchytraeus minutus</i> agg.	x	7					1										3
<i>Enchytraeus buchholzi</i> agg.	x	7															1
<i>Fridericia bulboides</i>	x	7															2
<i>Cernosvitoviella atrata</i>	8	x										1			1	1	
<i>Mesenchytraeus armatus</i>	9	7														1	
<i>Bryodrilus ehlersi</i>	x	x														1	
Antenzahl der Anneliden		6	5	10	6	8	8	9	14	15	16	15	15	18	18	23	7
gewichtete mittlere Feuchtezahl		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,2	5,0	5,0	5,1	5,2	5,0
gewichtete mittlere Reaktionszahl		1,8	2,1	2,4	2,6	2,7	2,8	3,1	3,3	3,4	3,4	3,5	3,9	4,1	4,6	5,1	6,7
pH-Wert (CaCl₂) im Oberboden		3,0	3,0	3,0	3,3	3,1	3,2	3,4	3,4	3,5	3,5	3,7	3,6	3,8	3,5	3,8	4,5
Zersetzergesellschaftstyp		Cognettielalia													Lumbricetalia		
		Achaeto-Cognettietum									Übergang		Übergang 1.12				

Tabellarischer Vergleich der Annelidenaufnahmen von 16 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen.

	F	R	Spruce	Spruce	Beech	Beech	Beech	Beech	Meadow
			Podzol	Dystric	Cambisol	Calcic	Cambisol	Histosol	
Earthworms			Macrofauna abundance class						
<i>Dendrobaena octaedra</i>	x	4	+						
<i>Lumbricus rubellus</i>	x	x			+		+		+
<i>Allolobophora chlorotica</i>	x	7							+
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	x	7					++	+++	++
<i>Aporrectodea rosea</i>	x	7					+	++	+
<i>Lumbricus castaneus</i>	x	7						++	+
<i>Lumbricus terrestris</i>	5	7						++	+++
<i>Octolasion cyaneum</i>	x	7					+		
<i>Octolasion tyrtaeum</i>	x	7						+	++
<i>Eiseniella tetraedra</i>	9	7						+	
Microannelids			Mesofauna abundance class						
<i>Marionina clavata</i>	5	1	+++++	++++	++++	+++++	++		
<i>Achaeta brevivasa</i>	5	1	+++++	++++		+++			
<i>Cognettia sphagnetorum</i>	x	2	+++++	+++++	++++	++++	+++		
<i>Achaeta camerani</i>	5	3	+++	+++	+++	+++++			
<i>Achaeta danica</i>	5	3		+	++++	+++			
<i>Achaeta aberrans</i>	5	3			+++	+			
<i>Mesenchytraeus pelicensis</i>	5	3			+				
<i>Cognettia cognettii</i>	x	4				+	+		
<i>Oconnorella cambrensis</i>	5	4				++	+++		
<i>Mesenchytraeus glandulosus</i>	5	5			+	++	+	+	
<i>Enchytraeus norvegicus</i>	5	5					+		
<i>Hrabeiella periglandulata</i>	5	6					++		
<i>Enchytronia parva</i>	5	6					+	++	
<i>Enchytronia minor</i>	5	7						+	
<i>Hemifridericia parva</i>	x	7						++	
<i>Marionina communis</i>	5	7						+++	
<i>Buchholzia</i> -species total	x	7					+	++++	
<i>Henlea</i> -species total	x	7						++	
<i>Enchytraeus</i> -species total	x	7					+	+	
<i>Fridericia</i> -species total	x	7					+	++	++++
<i>Stercutus niveus</i>	5	7					+	+++	
<i>Achaeta bohemica</i>	5	7					+	++	
<i>Achaeta eiseni</i>	5	7					+	++	
<i>Achaeta</i> sp. nov. A	5	7					+	+++	
<i>Achaeta</i> sp. nov. B	5	7					+	+	
<i>Achaeta unibilba</i>	6	7						+	
<i>Parergodrilus heideri</i>	7	7							+
<i>Rhyacodrilus falciformis</i>	8	7						+	
<i>Marionina argentea</i>	8	7						+	+
<i>Mesenchytraeus armatus</i>	9	7						+	
<i>Cognettia glandulosa</i>	9	7							++
<i>Cernosvitoviella atrata</i>	8	x					++	+	
Number of annelid species			5	5	8	10	20	26	30
Weighted average reaction figure			1.7	1.8	2.5	2.5	5.2	6.9	7.0
Decomposer community type			2.11	2.11	2.11	2.11	1.11	1.11	1.12

Beispiele für Aufnahmen der Annelidenzönose

(verändert nach Graefe, 1993).

Die Zeigerwerte für Bodenfeuchte (F) und Bodenreaktion (R) entsprechen in der Skalierung den Zeigerwerten der Pflanzen von Ellenberg.

Die Abundanzklassen der Regenwürmer (oben) und der Kleinringelwürmer (unten) unterscheiden sich in der Skalierung um den Faktor 100.

Mit dem Vorhandensein oder Fehlen endogäischer und anecischer Regenwurmartens ändert sich auch die Artenzusammensetzung bei den Kleinringelwürmern.

Makrofauna-Abundanzklassen

+	bis 10
++	über 10 bis 30
+++	über 30 bis 100
++++	über 100 bis 300
+++++	über 300 Individuen/m ²

Mesofauna-Abundanzklassen

+	bis 1.000
++	über 1.000 bis 3.000
+++	über 3.000 bis 10.000
++++	über 10.000 bis 30.000
+++++	über 30.000 Individuen/m ²

Order	Alliance	Association
1. Lumbricetalia Sites moderately acid to rich in lime	1.1 Lumbricion Undisturbed aerated soils	1.11 Stercuto-Lumbricetum Forest with mull humus forms
		1.12 Fridericio-Lumbricetum Grassland and arable land on loamy soils
	1.2 Enchytraeion Disturbed and eutrophicated soils	1.21 Fridericio-Enchytraeetum Arable land on sandy soils
		1.22 Buchholzio-Enchytraeetum Eutrophicated, compacted soils under urban influence
		1.23 Eisenietum Compost sites
	1.3 Eiseniellion Water-saturated, badly aerated soils	1.31 Octolasietum tyrtaei Base-rich fen, alder swamp
1.32 Eisenielletum Semiaquatic sites, floodplain		
2. Cognettietalia Sites with acid humus layer or peat	2.1 Achaeto-Cognettion Dry and moist soils with low base saturation	2.11 Achaeto-Cognettietum Forest and heathland with moder or mor humus forms
	2.2 Cognettion sphagnetorum Wet organic soils with low base saturation	2.21 Cognettietum sphagnetorum Base-poor fen, ombrotrophic bog
3. Henleetalia Sites moderately acid to rich in lime with humus layer	3.1 Mesenchytraeo-Henleion Decomposition inhibited by low temperature	3.11 Mesenchytraeo-Henleetum Permafrost soils in arctic tundra
	3.2 Fridericio-Henleion Bioturbation inhibited by lack of soil dwelling earthworms	3.21 Fridericio-Henleetum Early succession stage in reclaimed polders and marshlands
4. Communities influenced by salt (not yet differentiated)		

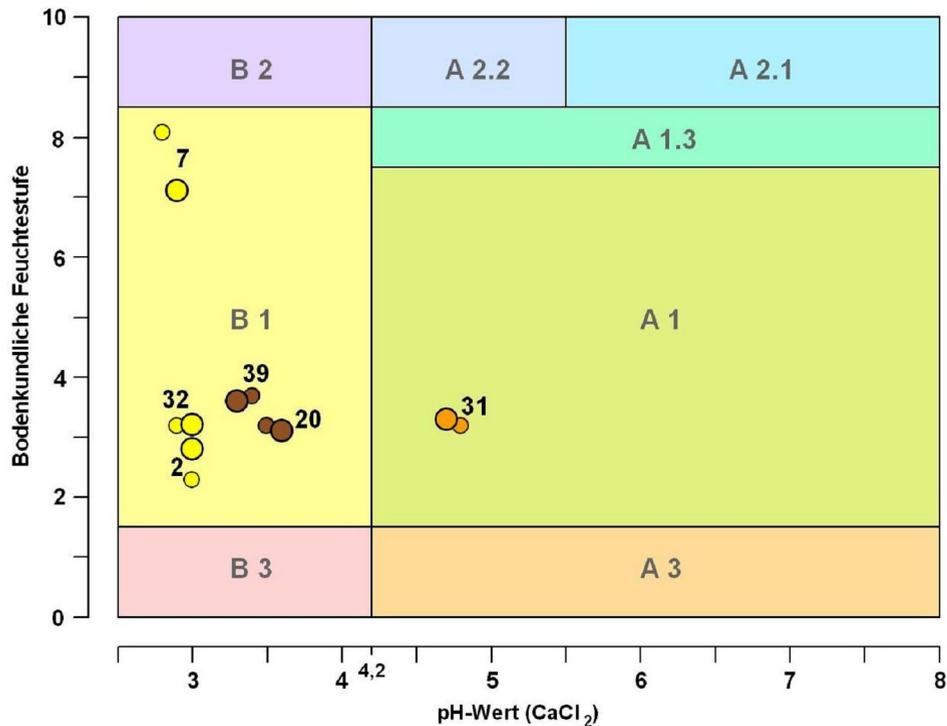
Übersicht der Zersetzer-gesellschaftstypen mit Standortbeispielen

(nach Beylich & Graefe, 2002).

Die hierarchische Gliederung im System der Zersetzer-gesellschaften spiegelt die Ähnlichkeitsbeziehungen der Artenzusammensetzung wider.

Den größten Einfluss haben der pH-Wert und die Humusform. In der zweiten und dritten Hierarchieebene wirken sich dann die Bodenfeuchte, die Bodennutzung und die Bodenart modifizierend auf die Artengemeinschaft aus.

Als Indikatorgruppen fungieren hier Regenwürmer und Kleinringelwürmer. Andere Bodenorganismengruppen reagieren ähnlich auf die gleichen Umweltfaktoren und können deshalb ebenso zur Definition der Gemeinschaftstypen herangezogen werden (vgl. Beylich et al., 2005).



Standortcharakterisierung von Bodenlebensgemeinschaftstypen nach BEYLICH et al. 2005

- A 1 stark sauer bis schwach alkalisch, mittel trocken bis schwach feucht
- A 1.3 stark sauer bis schwach alkalisch, schwach bis mittel feucht
- A 2.1 mittel sauer bis schwach alkalisch, mittel feucht bis nass
- A 2.2 stark bis mittel sauer, mittel feucht bis nass
- A 3 stark sauer bis schwach alkalisch, stark bis mittel trocken
- B 1 äußerst bis stark sauer, mittel trocken bis mittel feucht
- B 2 äußerst bis stark sauer, mittel feucht bis nass
- B 3 äußerst bis stark sauer, stark bis mittel trocken

Nummer der Boden-Dauerbeobachtungsfläche und Zersetzergesellschaftstyp nach GRAEFE 1998

große Symbole Jahr 2012
 kleine Symbole Zeitraum 2007-2012

- 32 *Achaeto-Cognettietum*
- 31 *Fridericio-Enchytraetum*
- 22 *Fridericio-Henleetum*
- 06 *Fridericio-Lumbricetum*
- 13 *Octolasietum tyrtaei*
- 37 salzbeeinflusste Zersetzergesellschaft
- 39 *Stercuto-Lumbricetum*

Ökogramm aus pH-Wert und bodenkundlicher Feuchtestufe. Basismodell der Bodenlebensgemeinschaftstypen nach Beylich, Broll, Graefe, Höper, Römbke, Ruf & Wilke (2005) und Ist-Zustand von 6 Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein (Zeitraum 2007 bis 2012).



BDF-SH 02 Süderlügum



BDF-SH 07 Pobüller Bauernholz



BDF-SH 32 Hahnheide/Trittau



BDF-SH 39 Hevenbruch

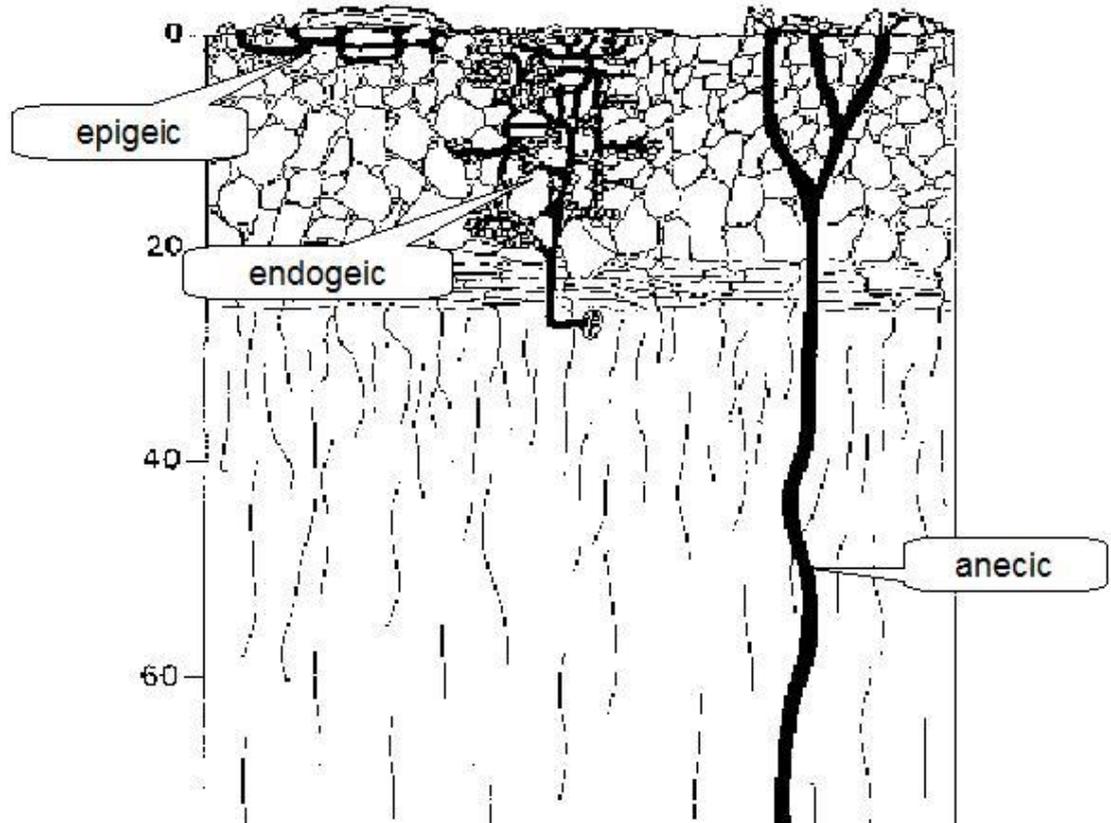


BDF-SH 20 Wüstenfelde

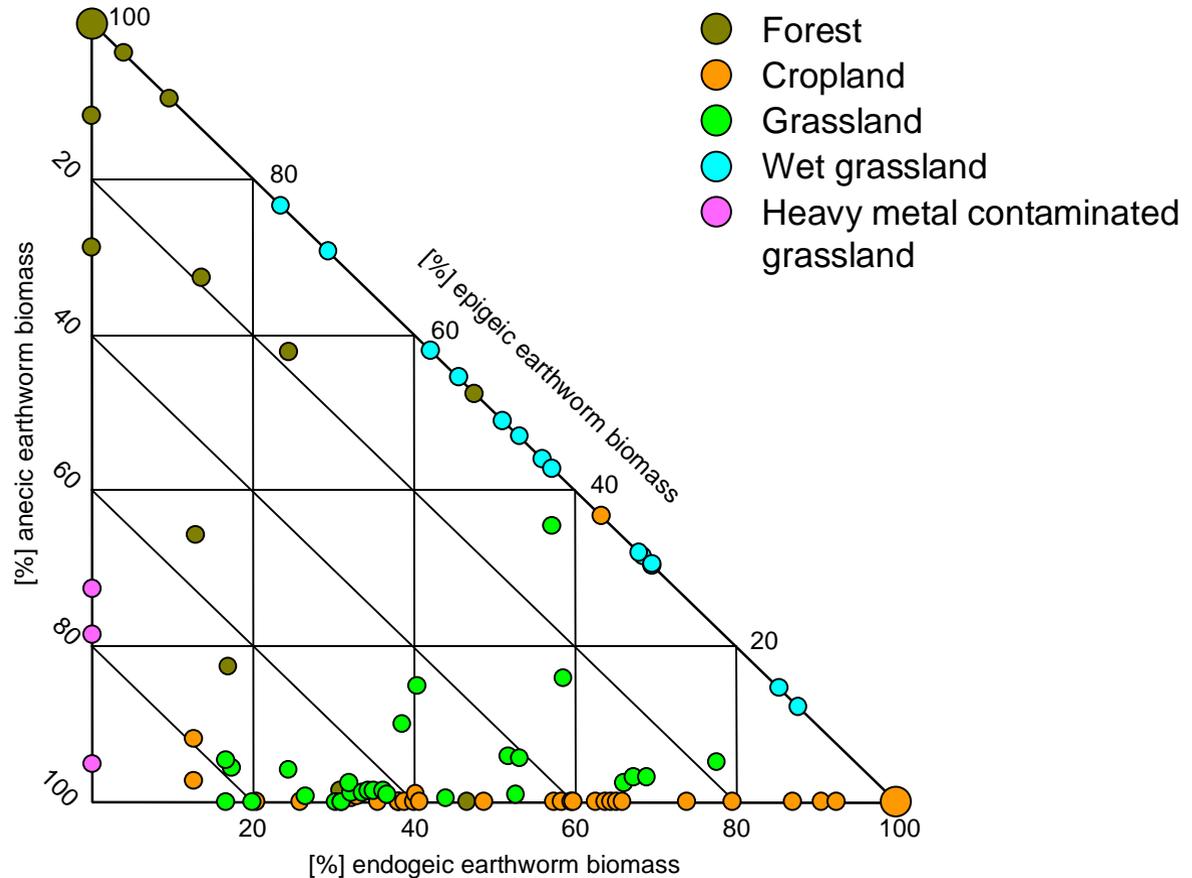


BDF-SH 31 Pinneberg/Baumschule

Earthworm burrows related to the ecological types of earthworms



Lebensformtypen-Diagramm der Regenwürmer

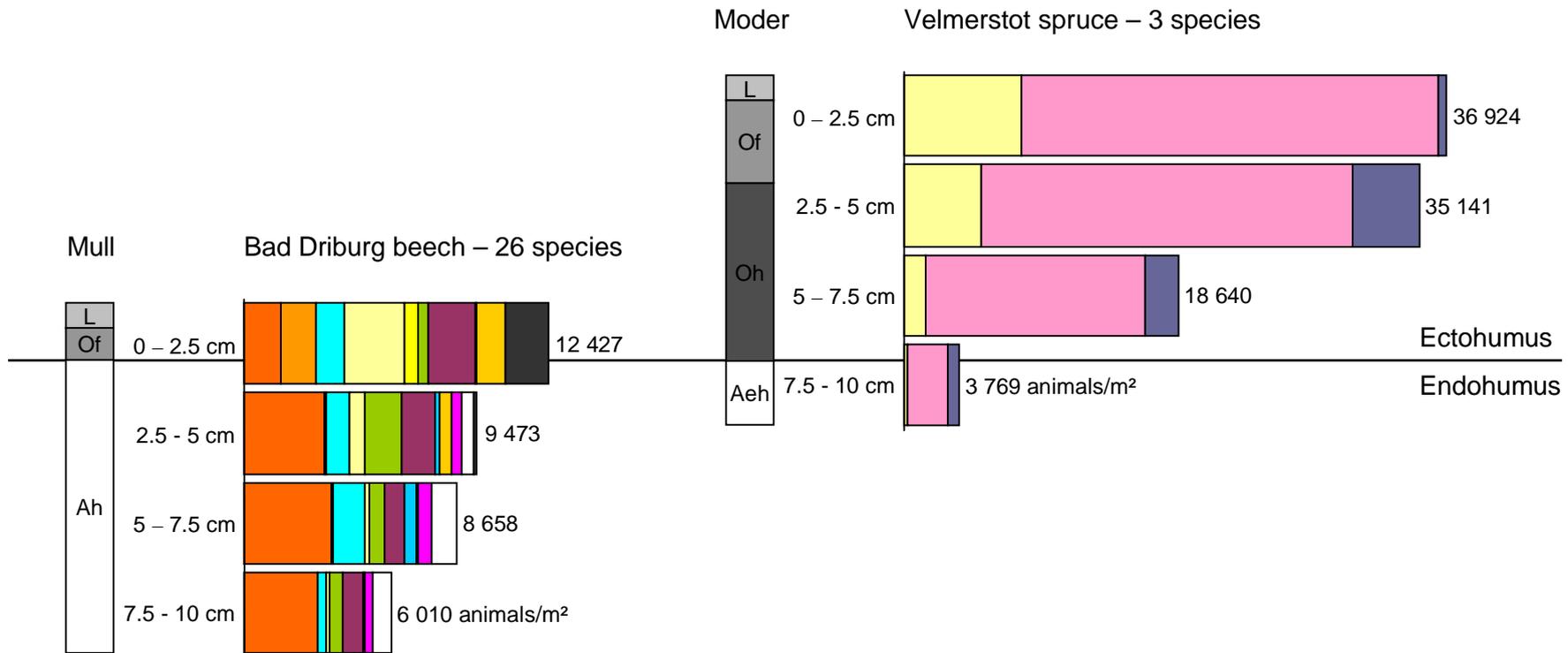


The diagram shows the relative abundance of the three ecological types of earthworms at permanent soil monitoring sites in Germany.



Profile Koorvere, Estonia, 28 August 2012

Bei der stratifizierten Extraktion von Kleinringelwürmern aus Humusprofilen erscheint das Humusaktivitätsprofil



Species diversity of microannelids in Mull humus profiles is generally higher than in Moder humus profiles. On the other hand, the total abundance of microannelids may be higher in Moder profiles.

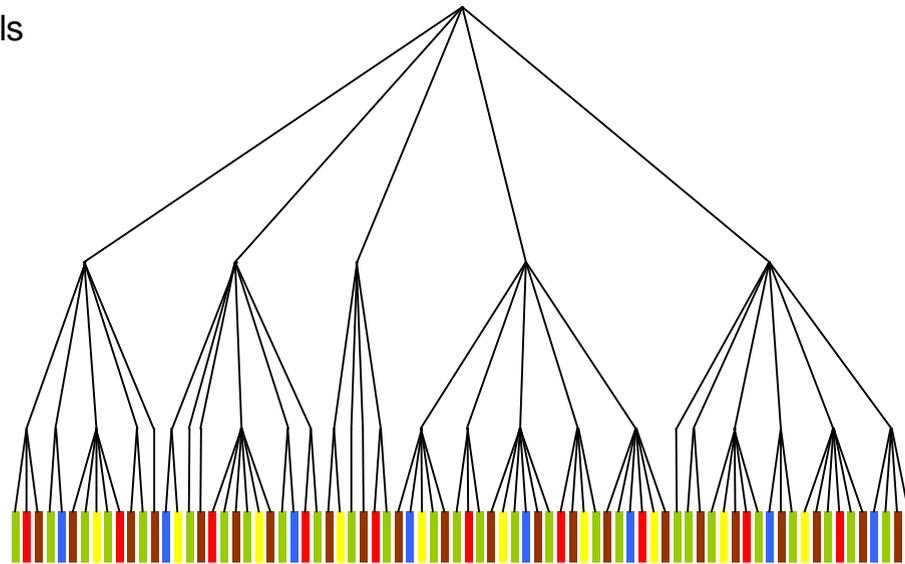
Hypothetisches Beispiel einer hierarchischen Klassifikation von Boden- oder Vegetationstypen

Object of classification: Soils

Generic level

Specific level

Varietal level



Humus form: ■ Form 1 ■ Form 2 ■ Form 3 ■ Form 4 ■ Form 5

Topsoil characteristics are considered in most soil classification systems only at the varietal level, as they strongly underlie locally changing conditions such as land use, vegetation and climate. Biological features that are linked to the topsoil and the humus form, therefore, do not coincide strictly with soil types. This is symbolized here by the variegated distribution pattern of biologically similar humus forms across soil types.

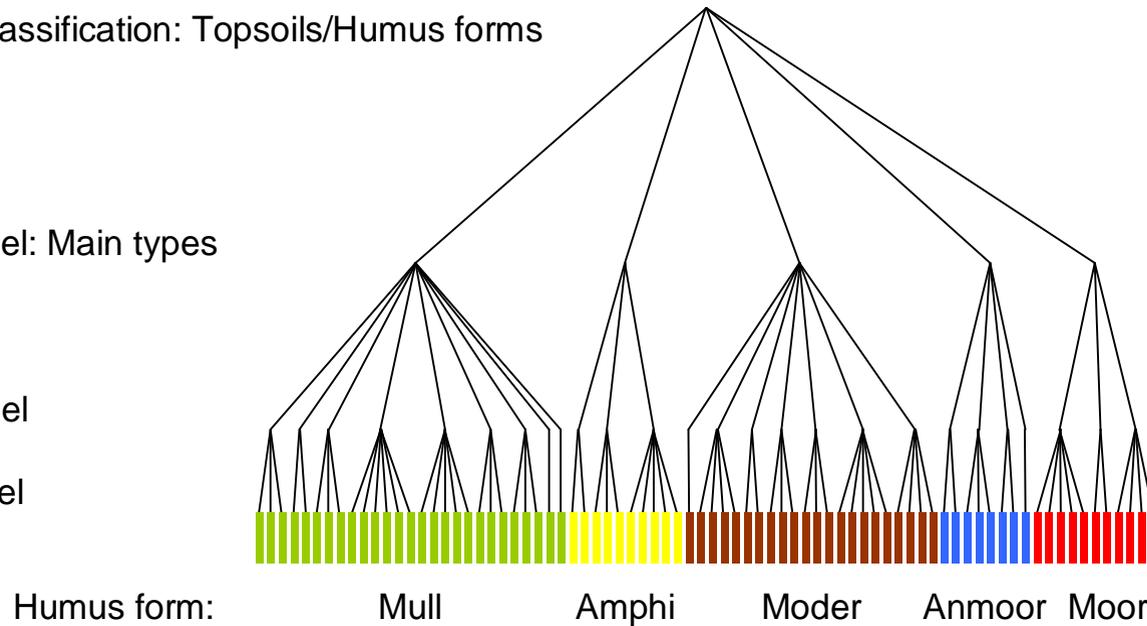
Hypothetisches Beispiel einer hierarchischen Klassifikation von Humusform- oder Bodenlebensgemeinschaftstypen

Object of classification: Topsoils/Humus forms

Generic level: Main types

Specific level

Varietal level



Eine konsistente Oberboden- oder Humusformen-Klassifikation berücksichtigt biologische Ähnlichkeiten auf der höchsten Differenzierungsstufe (generic level). Standortfaktoren wie pH-Wert, Bodenfeuchte, Bodenart, Bodentyp, Landnutzung, Vegetation und Klima, die Einfluss auf die Ausprägung des Humusform und die Zusammensetzung der Bodenbiozönose haben, werden hier erst auf der Ebene von Subtyp (specific level) und Varietät berücksichtigt.