

Stiftung Naturschutz Hamburg und Stiftung Loki Schmidt zum Schutze gefährdeter Pflanzen
und Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg
Workshop: Bodenschutz – eine Aufgabe des Naturschutzes?
Hamburg, 24.1.2006

Bodeneigenschaften und Bodenorganismen

Ulfert Graefe

IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie
GmbH, Hamburg

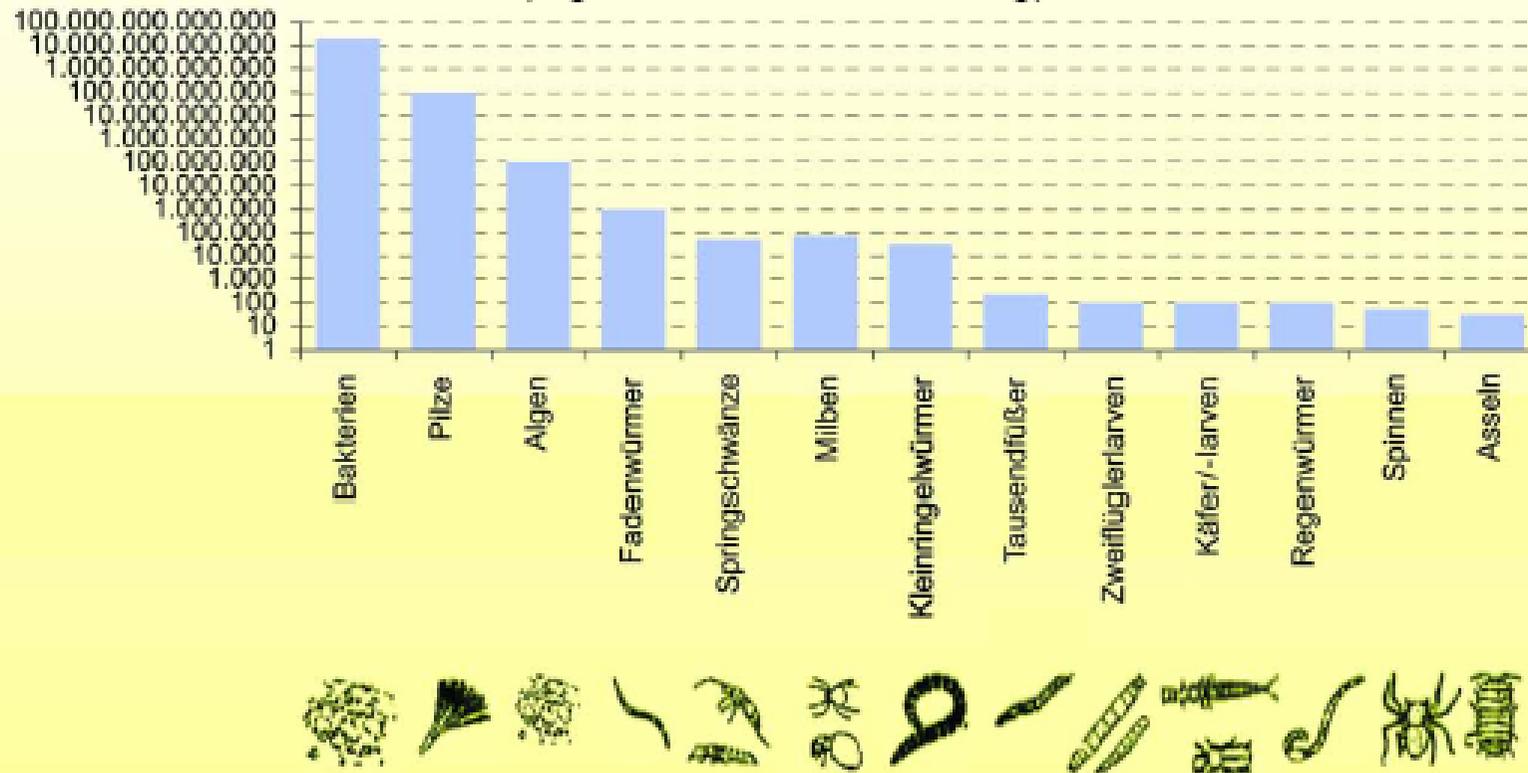
ulfert.graefe@ifab-hamburg.de

Artenzahlen verschiedener Organismengruppen

	Artenzahlen	Bezugsraum	Quelle
Höhere Pflanzen	3.250	Deutschland	Bundesamt für Naturschutz 1996
Bodentiere	1.000	1 m ² Waldboden	Anderson 1975
Prokaryote Mikroorganismen	6.400 – 38.000	1 g Boden	Curtis et al. 2002

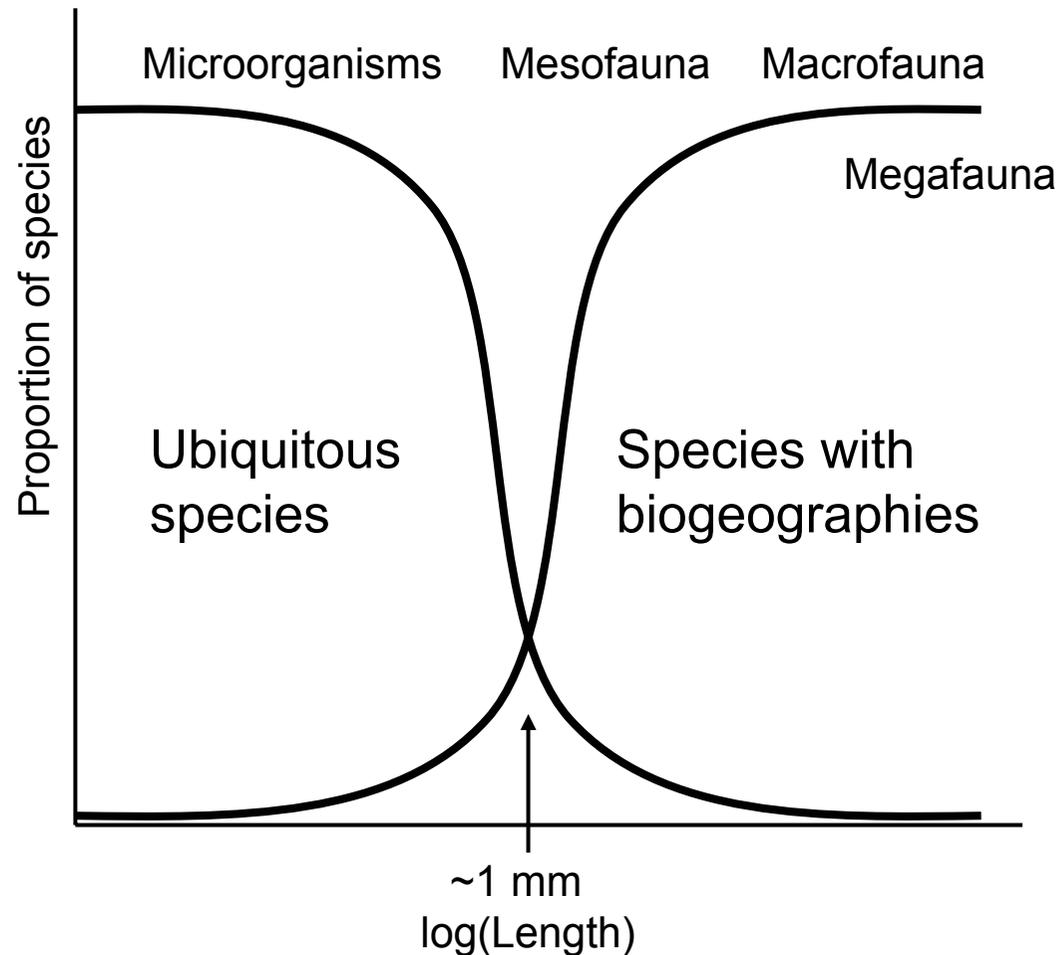
Die Bodenbiozönose ist extrem artenreich. Die Artenzahlen liegen um mehrere Größenordnungen höher als die der Vegetation.

Durchschnittliche Individuenanzahl/m² in Böden der temperierten Klimazonen (logarithmische Skalierung)



Grafik: LUA-Infoblatt 13, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 2003

In der Regel gilt: je kleiner die Organismen, desto größer die Individuenzahlen.



Large mammal species obviously have biogeographies, whereas microbial species do not.

B. J. Finlay, *Science* **296**, 1061 (2002).

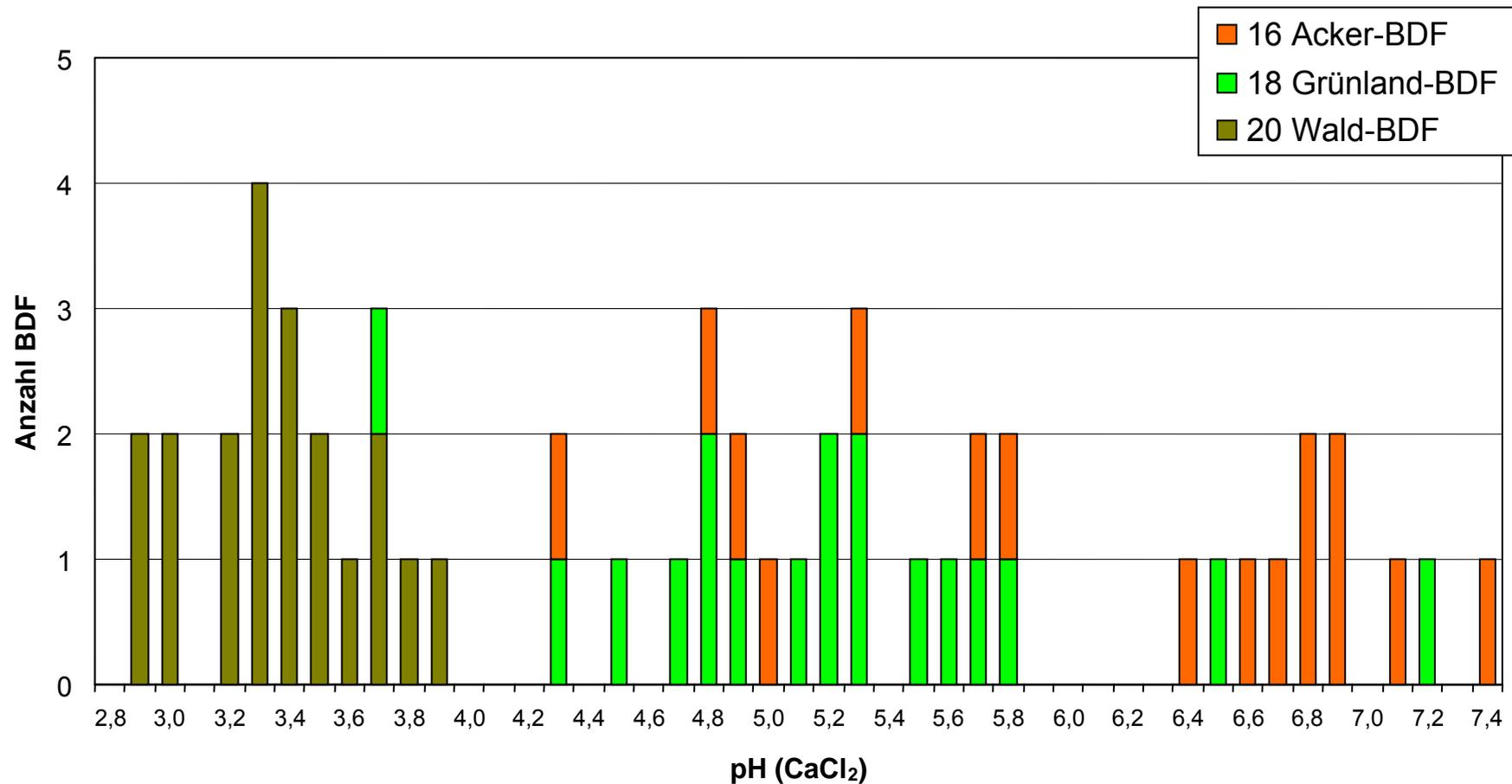
Hypothetisches Modell des Übergangs von ubiquitärer zu geographisch eingeschränkter Verbreitung in Abhängigkeit von der Körpergröße der Arten (nach Finlay, 2002).

Hohe Individuenzahlen und geringe Körpergröße begünstigen die Ausbreitungsmöglichkeiten der Arten. Dies führt dazu, dass Bodenmikroorganismen ubiquitär verbreitet sind. Auch Arten der Mesofauna sind oft sehr weit verbreitet. Es wird angenommen, dass der Übergangsbereich zwischen ubiquitärer und geographisch eingeschränkter Verbreitung bei einer Körpergröße von 1 bis 10 mm liegt.

These 1

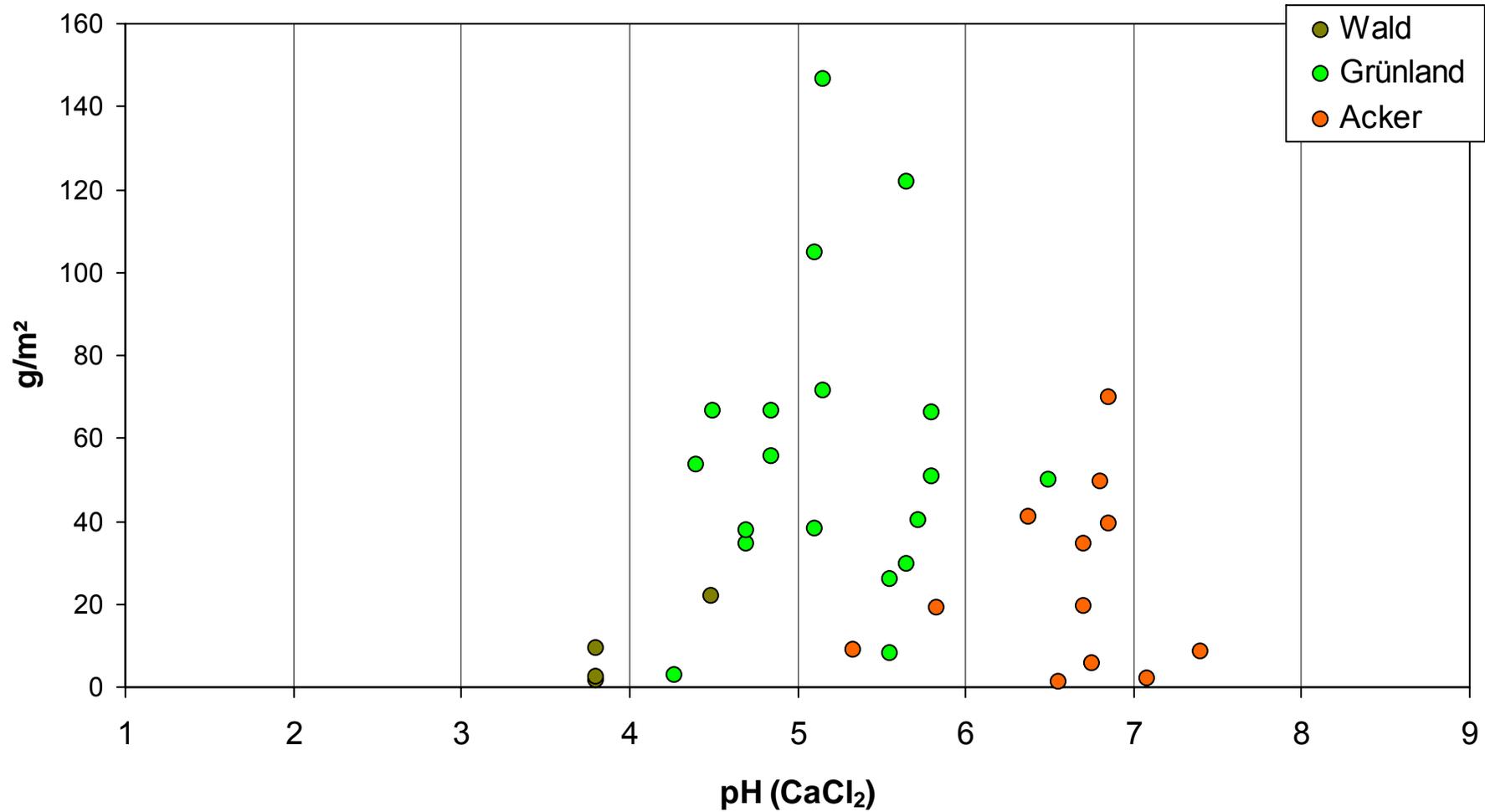
Die Arten der Bodenbiozönose sind überwiegend klein, zahlreich und weit verbreitet. Unter ihnen finden sich deshalb kaum klassische Zielarten des Naturschutzes. In Roten Listen werden sie nicht aufgeführt.

Säurestatus in Auflage/Oberboden von 54 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (Schleswig-Holstein, Hamburg und Nordrhein-Westfalen)



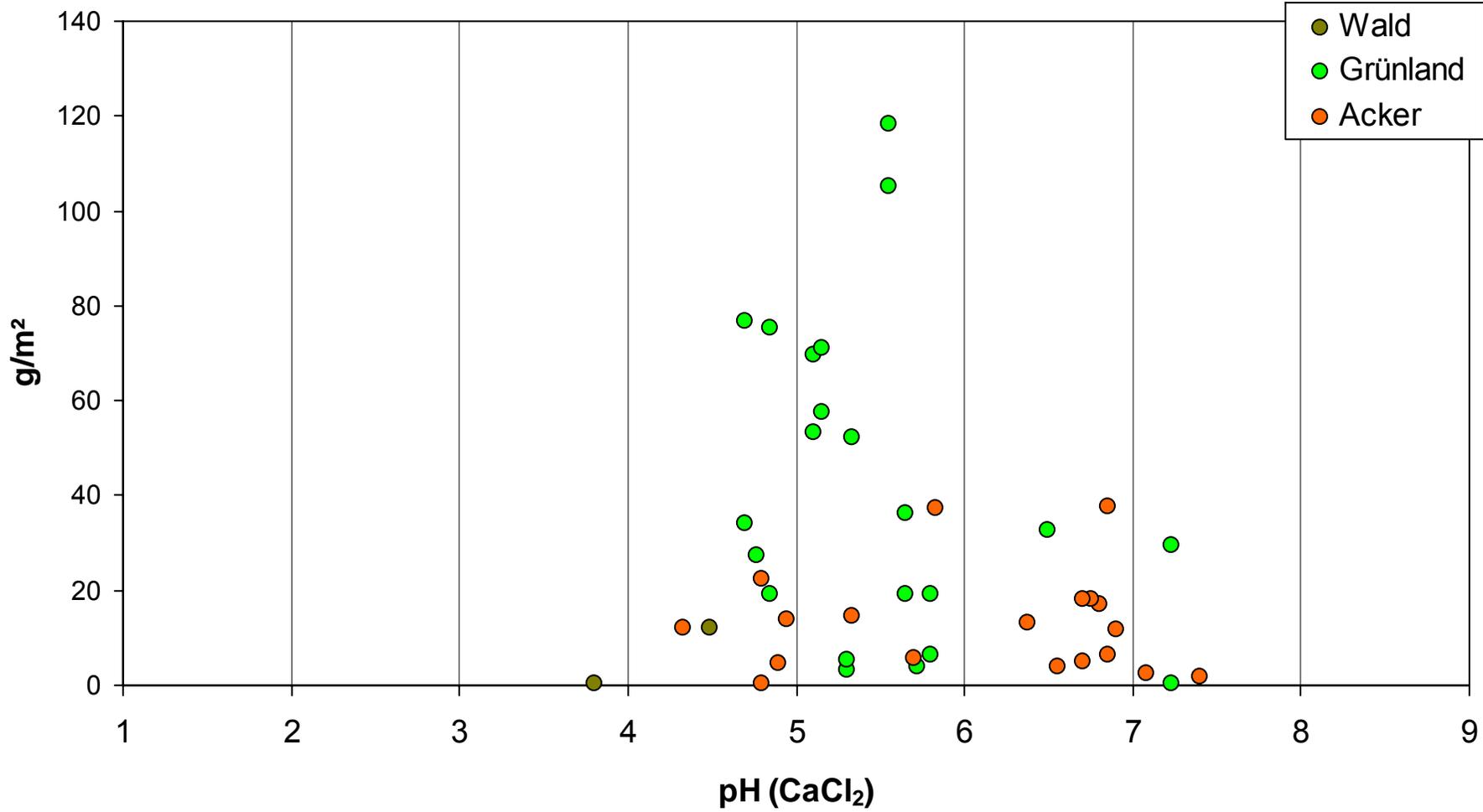
Die Beziehungen zwischen Bodenorganismen und Bodeneigenschaften können anhand von Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) dargestellt werden. Auf diesen Flächen wurden Regenwürmer und Kleinringelwürmer untersucht. Die Bandbreite der pH-Werte reicht von extrem sauer bis schwach alkalisch.

Lumbricus terrestris



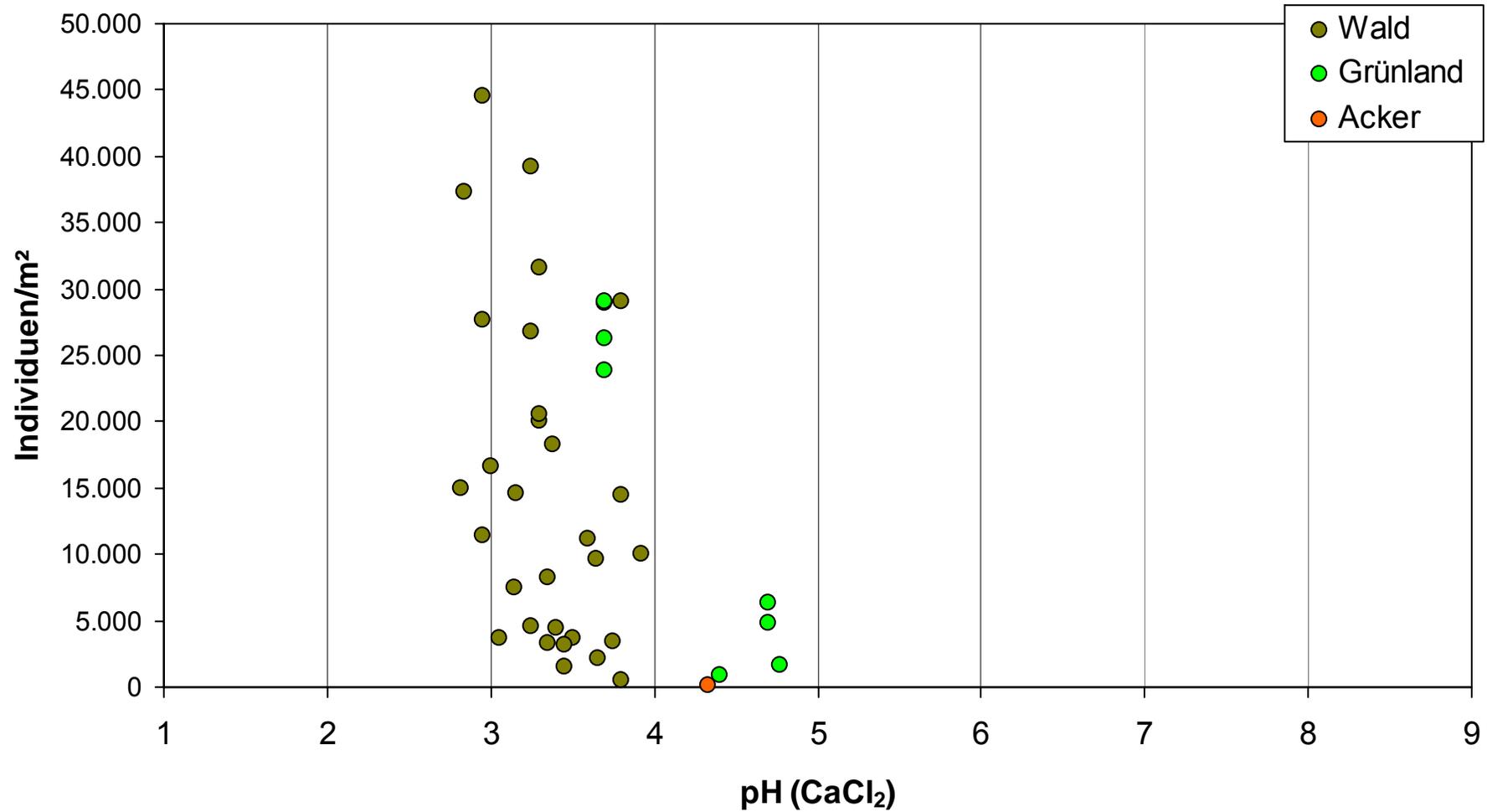
Der tiefgrabende (anecische) Regenwurm *Lumbricus terrestris* kommt in Wald-, Grünland- und Ackerböden bei pH-Werten von 3,8 bis 7,4 vor.

Aporrectodea caliginosa

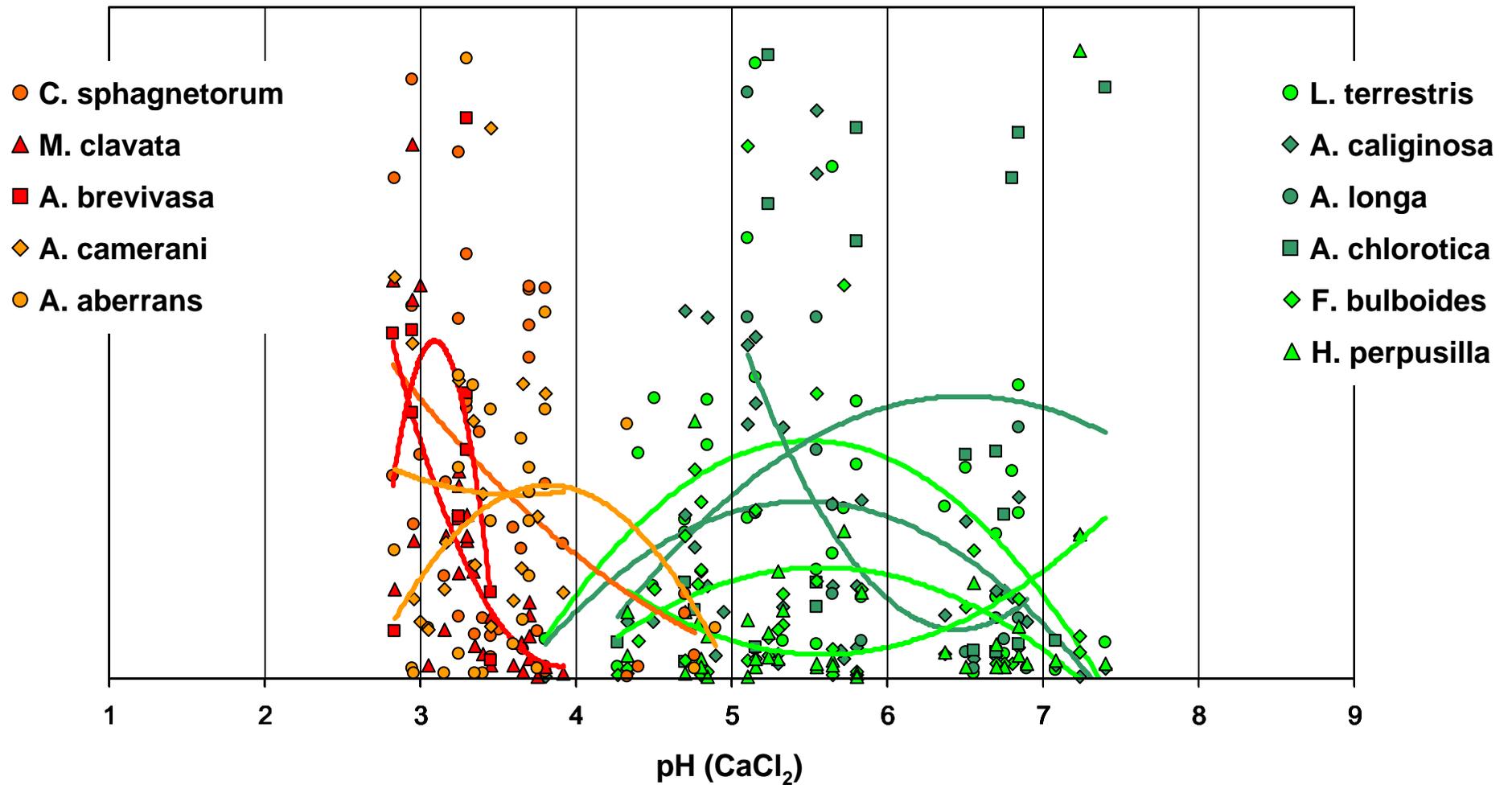


Der im Mineralboden lebende (endogäische) Regenwurm *Aporrectodea caliginosa* kommt ebenfalls in Wald-, Grünland- und Ackerböden im gleichen pH-Bereich vor.

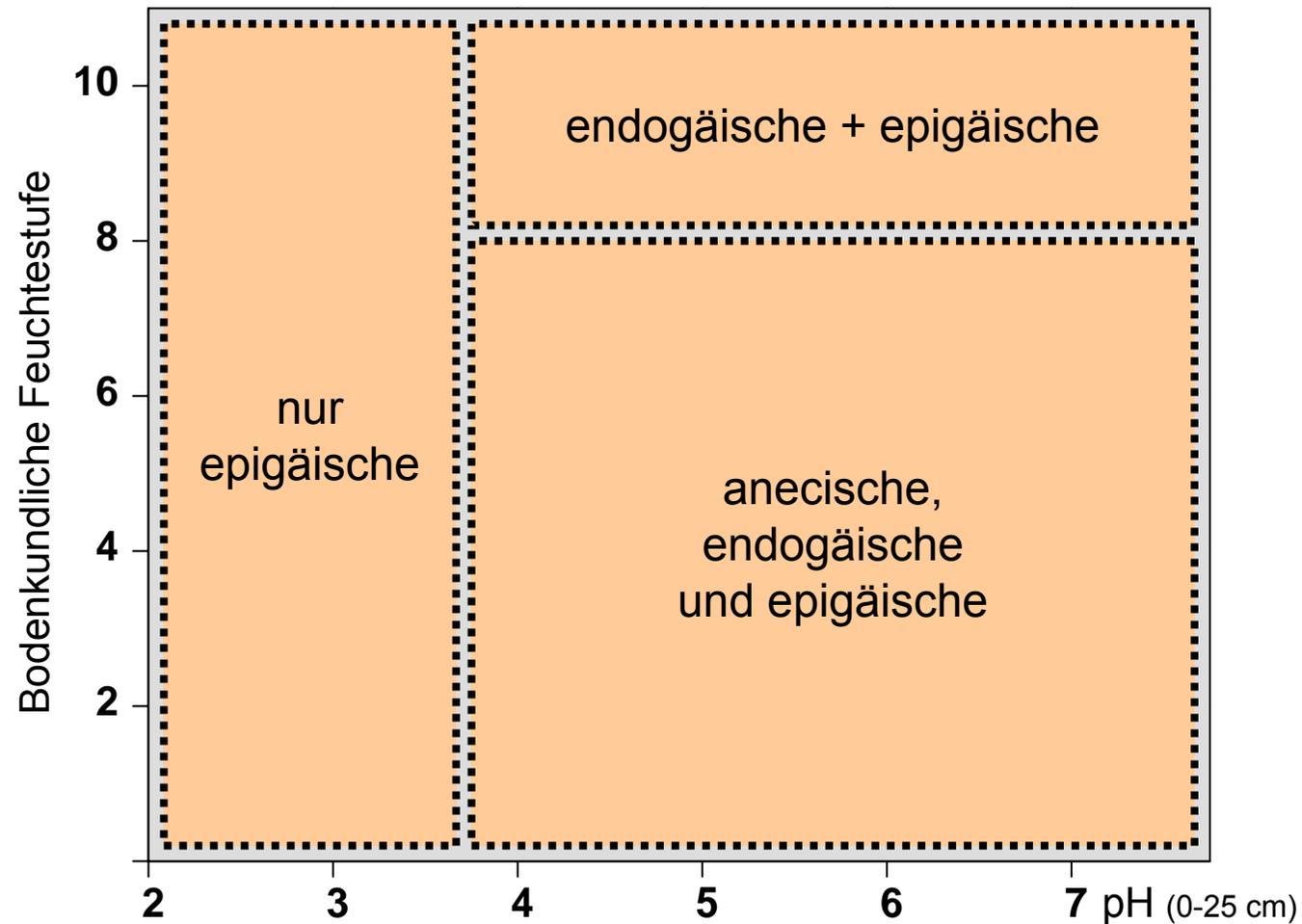
Cognettia sphagnetorum



Auch der Kleinringelwurm *Cognettia sphagnetorum* ist nicht an eine bestimmte Bodennutzung gebunden. Der Schwerpunkt seines Vorkommens liegt im stark sauren Bereich. Er lebt vor allem in der Humusaufgabe.



Legt man die Verteilungskurven verschiedener Arten übereinander, ergeben sich zwei Bereiche mit ähnlicher Artenzusammensetzung, die zwei Bodenbiozönosetypen oder Zersetzergesellschaftstypen entsprechen (Lumbricetalia und Cognettietalia). Der Übergang zwischen beiden Typen liegt bei pH 4,2.



Grafik: verändert nach Ehrmann in Sommer et al., 2002

Endogäische und anecische Regenwürmer sind durch ihre Grabaktivität bedeutende Habitatgestalter für andere Bodenorganismen, die in Gemeinschaft mit ihnen leben. Das Ökogramm zeigt den pH- und Feuchtebereich, in dem diese Regenwurmarten und mit ihnen bestimmte Gemeinschaftstypen von Bodenorganismen vorkommen.

	F	R	Spruce	Spruce	Beech	Beech	Beech	Beech	Meadow
			Podzol	Dystric Cambisol		Calcic Cambisol	Histosol		
Earthworms			Macrofauna abundance class						
<i>Dendrobaena octaedra</i>	x	x	+						
<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>Marionina 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>	x	7							+++
<i>Buchholzia-species total</i>	x	7					+		++++
<i>Henlea-species total</i>	x	7					+		++
<i>Enchytraeus-species total</i>	x	7					+		+
<i>Fridericia-species total</i>	x	7					+	++	++++
<i>Stercutus niveus</i>	5	7					+	+++	
<i>Achaeta bohemica</i>	5	7					+	++	
<i>Achaeta eiseni</i>	5	7					+	++	
<i>Achaeta sp. nov. A</i>	5	7					+	+++	
<i>Achaeta sp. nov. B</i>	5	7					+	+	
<i>Achaeta unibulba</i>	6	7						+	
<i>Parergodrillus heideri</i>	7	7							+
<i>Rhyacodrillus falciformis</i>	7	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			1.6	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 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-Enchytraetum Arable land on sandy soils
		1.22 Buchholzio-Enchytraetum 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).

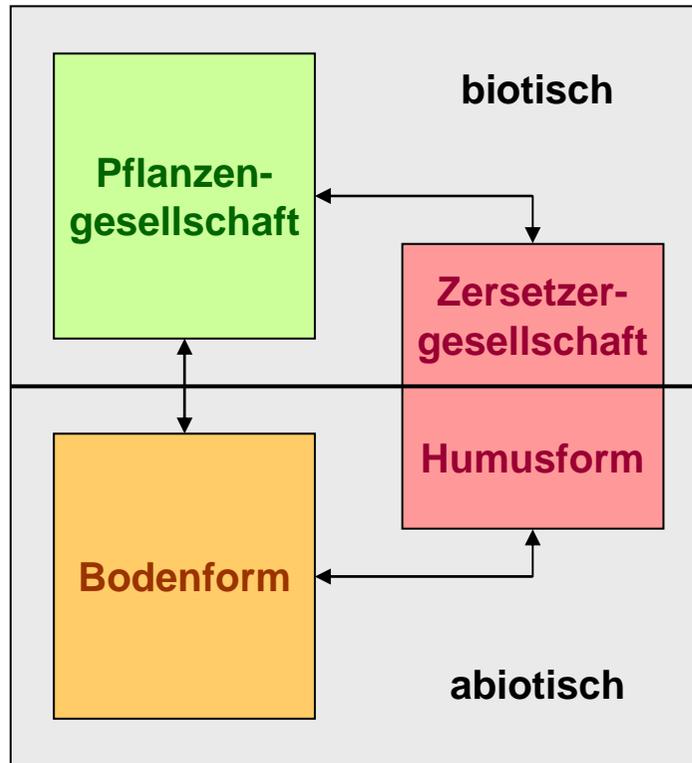
Die hierarchische Gliederung im System der Zersetzer-gesellschaften spiegelt die Ähnlichkeitsbeziehungen der Artenzusammensetzung wider.

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).

These 2

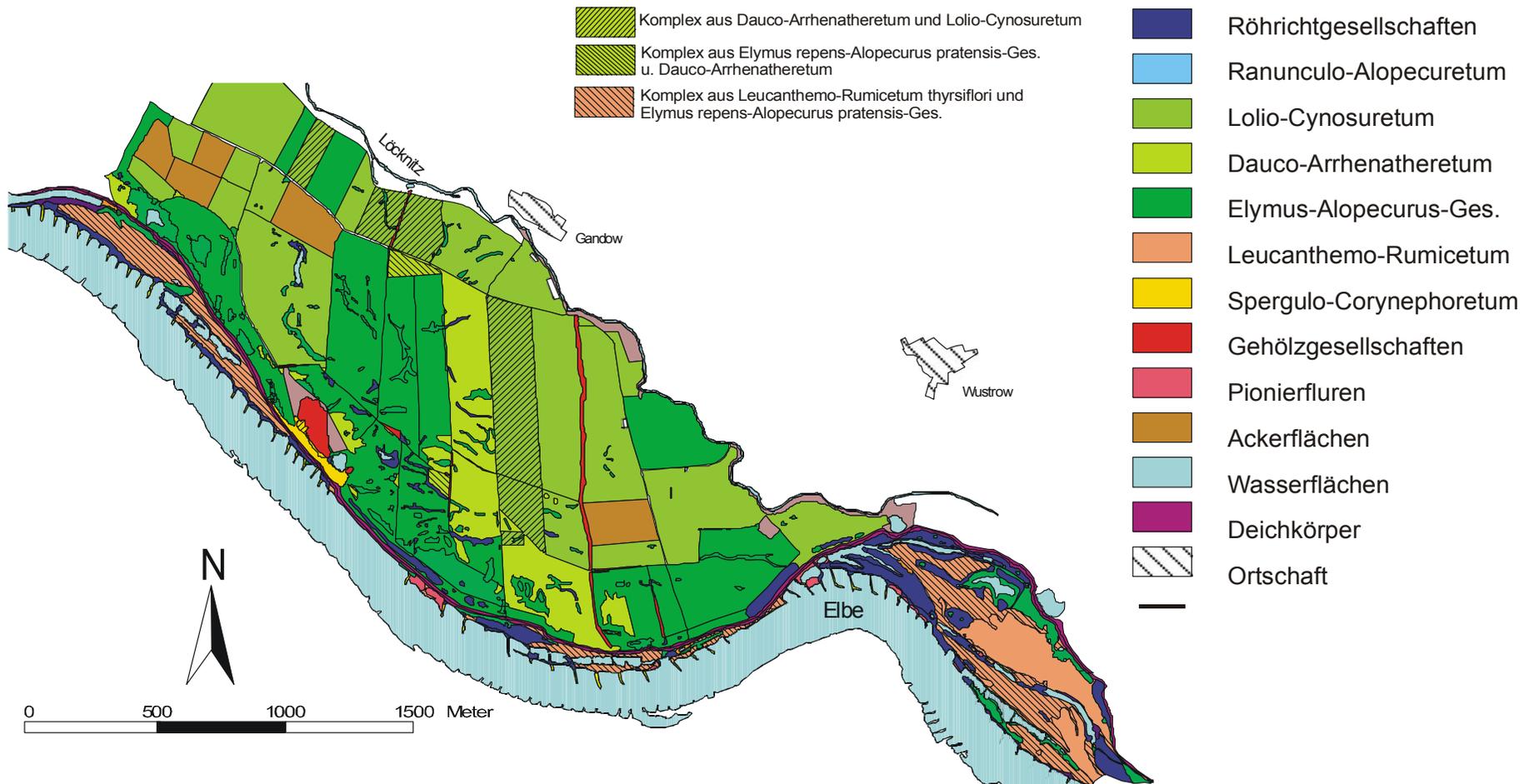
Im Gegensatz zur Vegetation ist die Bodenbiozönose in ihrer Artenzusammensetzung nicht vollständig erfassbar. Typische Vergesellschaftungen können aber mit Hilfe von Indikatorgruppen unterschieden werden. Entlang von Umweltgradienten gibt es Schwellenwerte, bei deren Überschreitung strukturelle Änderungen in der Artengemeinschaft auftreten.



Teilkomplexe von Ökosystemen
mit eigener Klassifikation

Humusprofile (Humusformen) entstehen durch die Aktivität von Bodenorganismen und bilden gleichzeitig ihren Lebensraum. Die Bodenbiozönose ist deshalb eng mit der Humusform korreliert. Zusammen bilden sie einen eigenständigen Komplex, der sich nicht unmittelbar aus dem Bodentyp oder der Bodenform ableiten lässt.

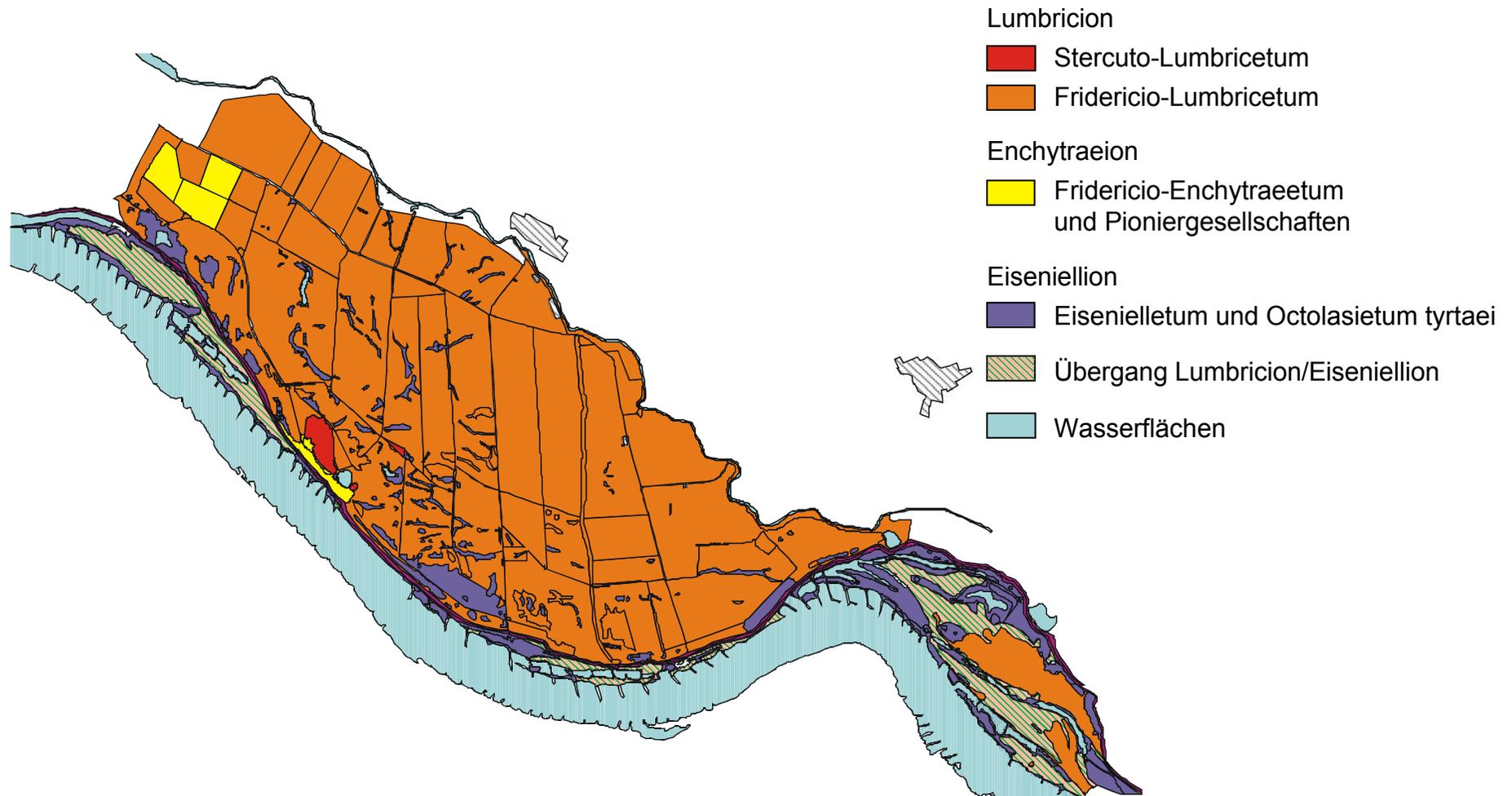
Koinzidenzen bestehen zwischen der Bodenbiozönose und der Vegetation, insoweit beide von edaphischen Faktoren abhängig sind. Andere Faktoren, wie Lichtkonkurrenz oder Landnutzung, wirken sich vor allem oberirdisch stärker differenzierend aus, so dass die Zahl der unterscheidbaren Pflanzengesellschaften erheblich größer ist als die der Zersetzer-gesellschaften.



Vegetationskarte des Untersuchungsgebietes Lenzener Elbtalaue

Kartenentwurf: Andreas Heinken, Michael Hellwig, Tobias Kunitz

Beispiel für eine Vegetationskarte.



Karte der Zersetzergesellschaftstypen im Untersuchungsgebiet Lenzener Elbtalaue

nach Graefe et al., 2002

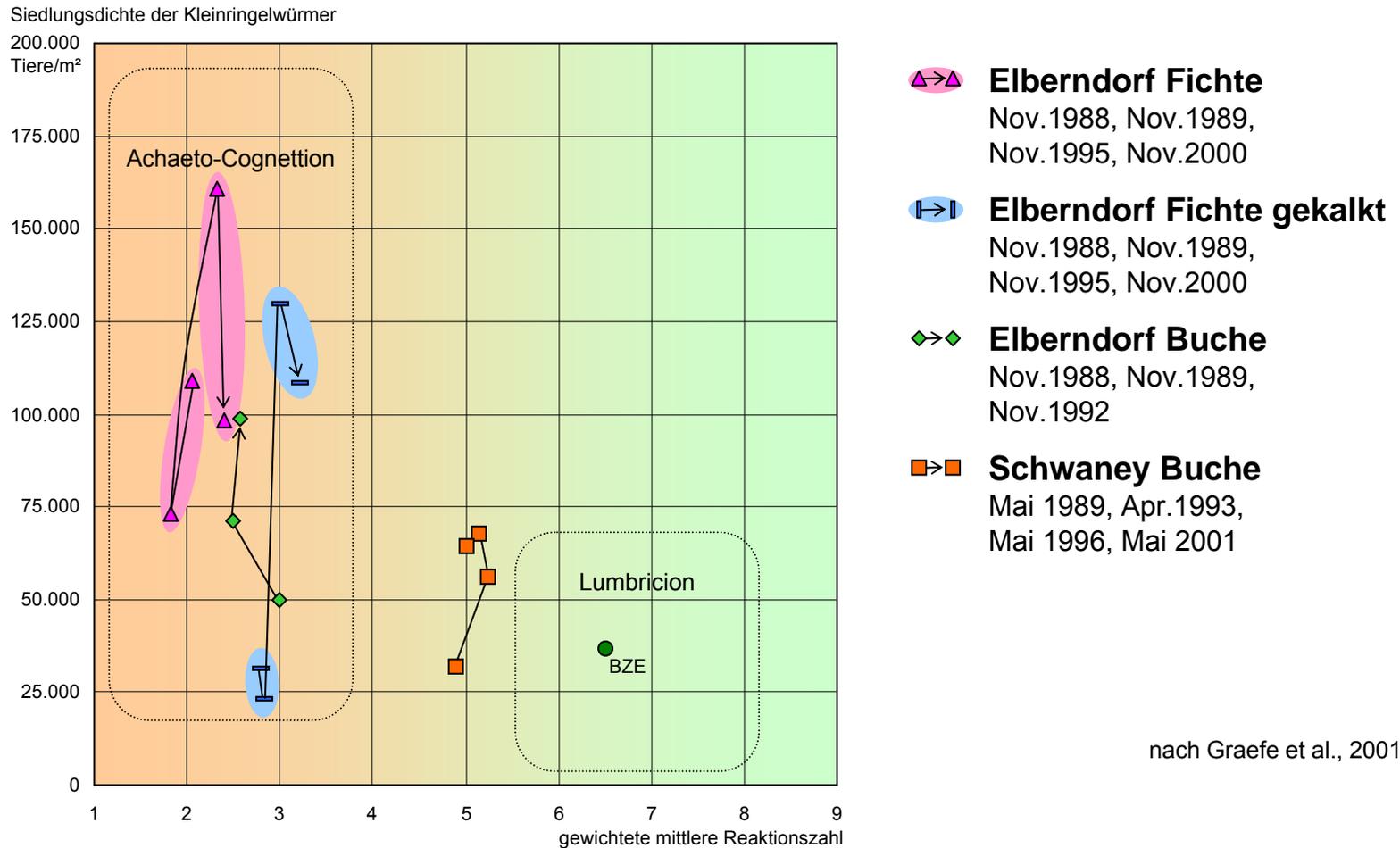
An vegetationskundlich definierten Teststandorten wurde die Bodenbiozönose erfasst. Wo nur geringe Unterschiede waren, wurden mehrere Vegetationstypen dem gleichen Zersetzergesellschaftstyp zugeordnet. Das flächenhafte Vorkommen wurde anhand von Verknüpfungsregeln aus der Vegetationskarte abgeleitet.

These 3

Die Zahl der unterscheidbaren Bodenbiozönosetypen ist relativ klein. Entsprechend weiträumig ist ihre flächenhafte Verbreitung. Das Schutzkriterium „Seltenheit der Bodenbiozönose“ wird nur in wenigen Fällen anwendbar sein. Oft handelt es sich um Extremstandorte, die schon aus anderen Gründen Schutzstatus genießen.

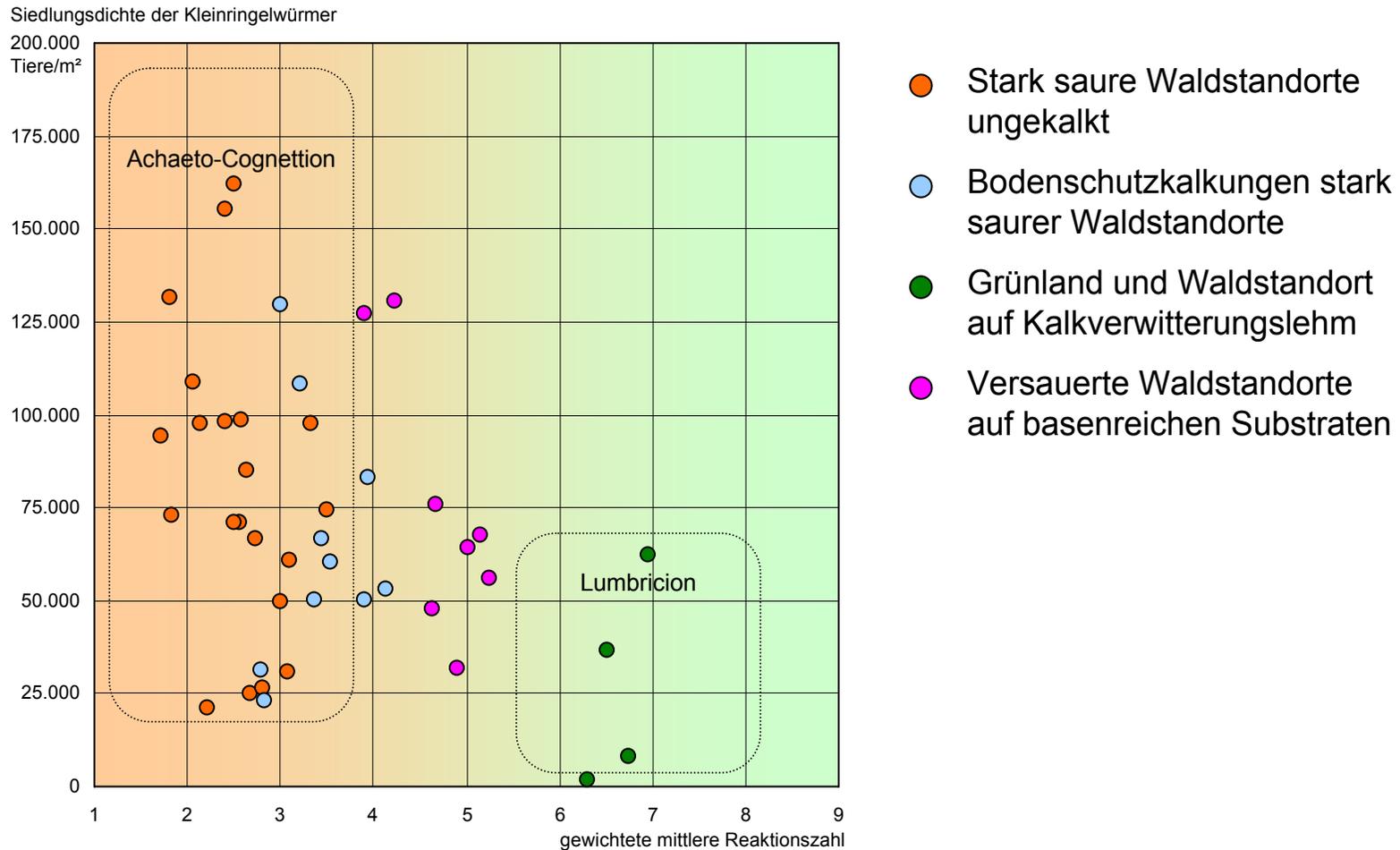
Entwicklung des biologischen Bodenzustands auf Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen

Ökogramm mit der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer und der mittleren Reaktionszahl der Annelidenzönose



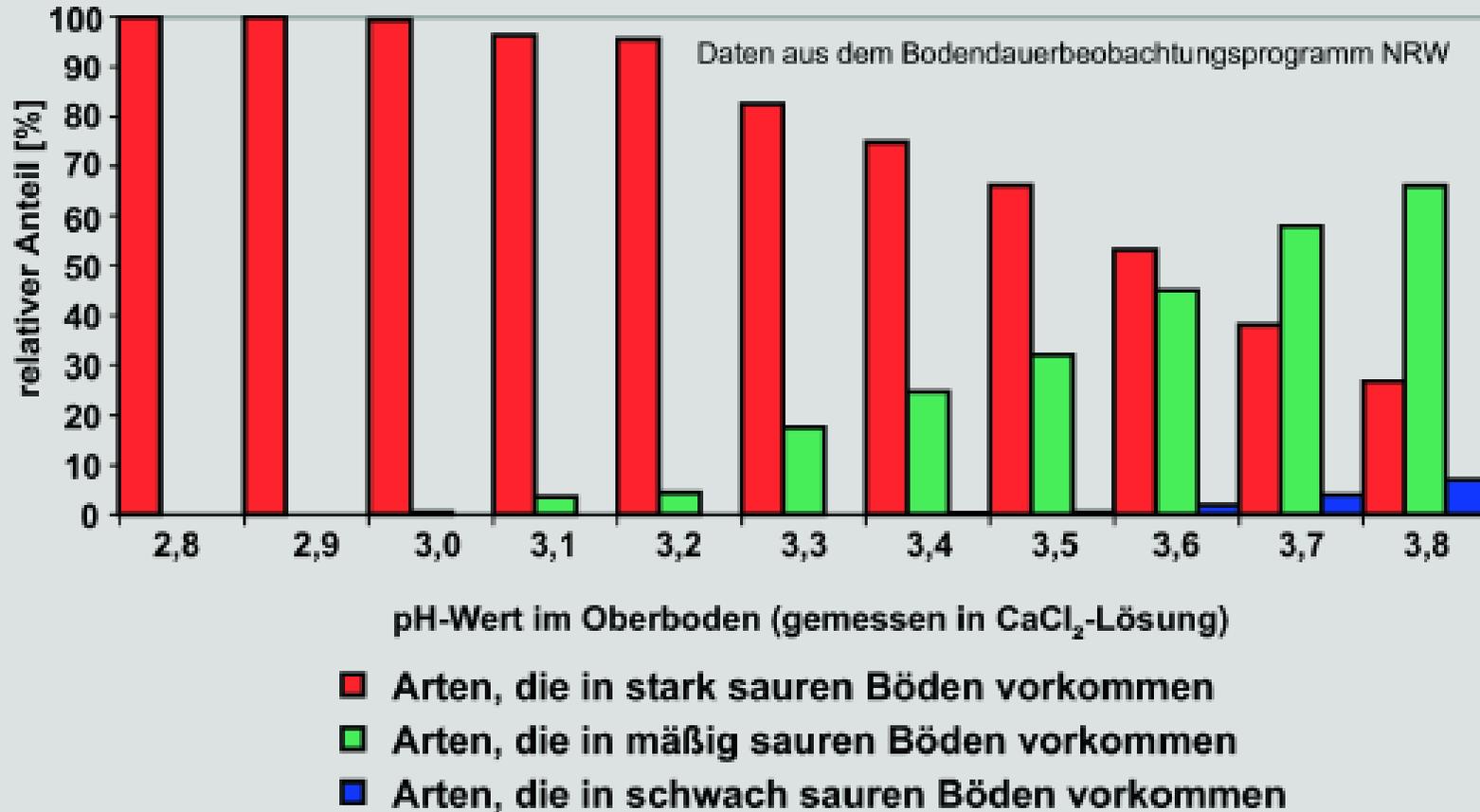
Bei Langzeituntersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen wird erkennbar, ob die beobachteten Parameter in einem „Attraktorbereich“ schwanken oder, ob sie einem gerichteten Trend folgen. Der Schwankungsbereich der gekalkten Fichtenfläche ist gegenüber dem der ungekalkten Fläche zu höheren Reaktionszahlen hin verschoben. Die durch Säureinträge stark belastete Fläche Schwaney auf Kalkverwitterungslehm positioniert sich auf dem Diagramm in weiter Entfernung von der gering belasteten Vergleichsfläche (BZE) auf gleichem Ausgangsgestein.

Biologischer Bodenzustand von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen Ökogramm mit der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer und der mittleren Reaktionszahl der Annelidenzönose



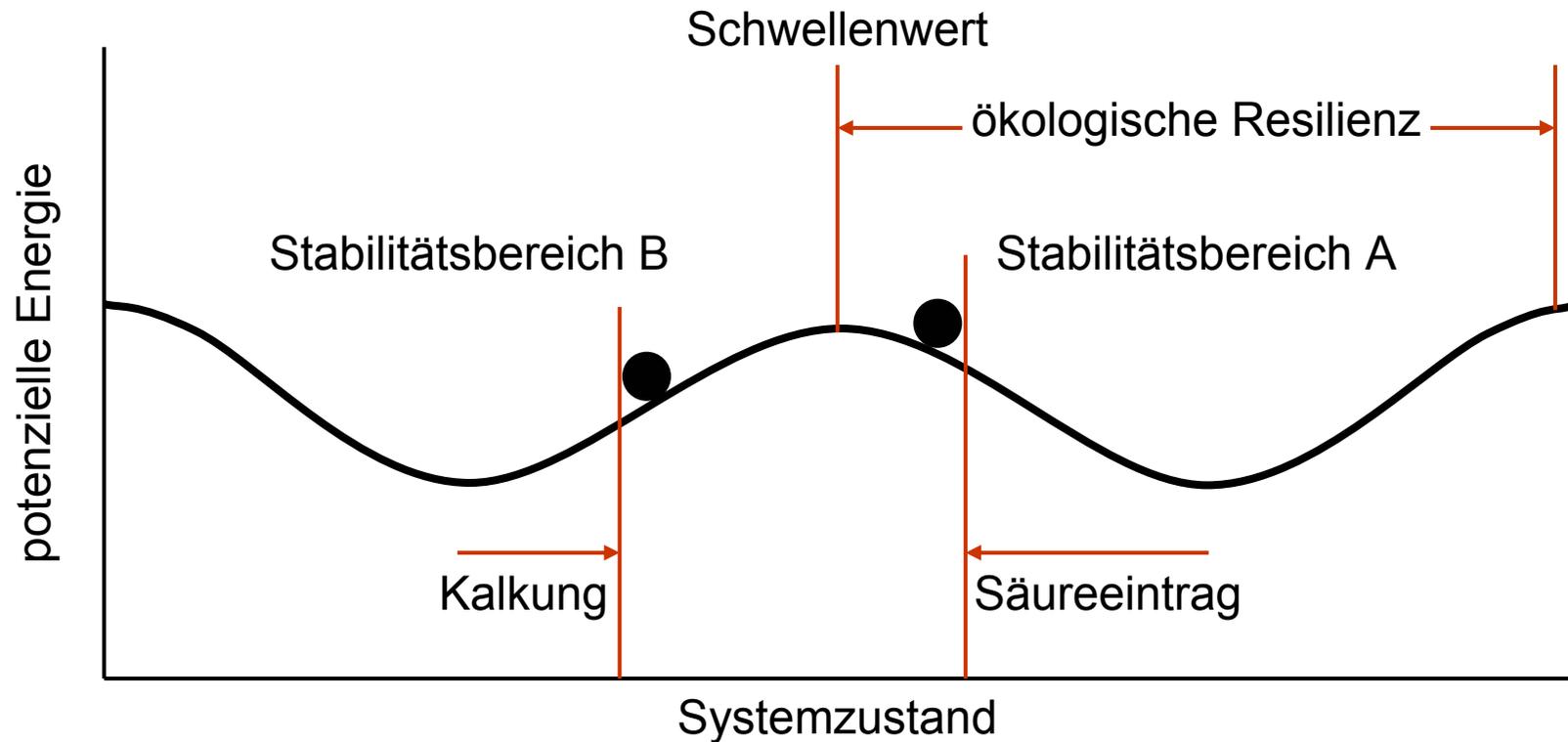
Die aktuellen biologischen Bodenzustände werden auf dem Diagramm visualisiert und bekommen eine Lesrichtung. Die relativen Abstände zeigen den Wirkungsgrad der Bodenversauerung, das Ausmaß der Abweichung von einem Erwartungswert, Veränderungen vom Ausgangszustand oder die Entfernung vom Sollzustand nach einer Bodenschutzkalkung.

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



Grafik: LUA-Infoblatt 13, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 2003

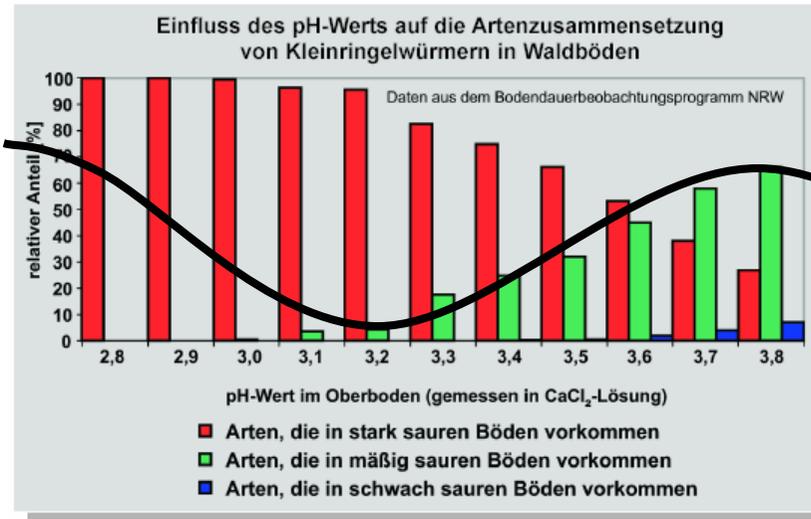
Andere Form der Darstellung des gleichen Sachverhalts.



Zwei Stabilitätsbereiche der Bodenbiozönose auf dem Gradienten der Bodenreaktion

nach 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.

These 4

Die Bodenbiozönose entwickelt sich in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen an der Schnittstelle zwischen Vegetation und Boden und insofern grundsätzlich „standortsgemäß“. Als Träger der Zersetzungsprozesse im Oberboden, dem empfindlichsten Teil des Bodenprofils, ist sie ein Frühindikator für Umweltveränderungen.



Bild: XIVth International Colloquium on Soil Zoology and Ecology, Rouen 2004

Danke für die Aufmerksamkeit !

Quellen und weiterführende Literatur

- Anderson, J. M. (1975): The enigma of soil animal species diversity. In J. Vaněk (ed.). Progress in Soil Zoology. Academia, Prague, pp. 51-58.
- Beylich, A., Graefe, U. (2002): Annelid coenoses of wetlands representing different decomposer communities. In G. Broll, W. Merbach, E.-M. Pfeiffer (eds.): Wetlands in Central Europe. Springer, Berlin, pp. 1-10.
- Beylich, A., Broll, G., Graefe, U., Höper, H., Römbke, J., Ruf, A., Wilke, B.-M. (2005): Biologische Charakterisierung von Böden. Ansatz zur Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen im Rahmen von Planungsprozessen. BVB-Materialien Band 13, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 78 S.
- Bundesamt für Naturschutz (1996): Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schr.-R. f. Vegetationskunde 28, 744 S.
- Curtis, T. P., Sloan, W. T., Scannell, J. W. (2002): Estimating prokaryotic diversity and its limits. Proc. Natl Acad. Sci. U. S. A. 99: 10494-10499.
- Finlay, B. J. (2002): Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. Science 296: 1061-1063.
- Graefe, U. (1993): Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 69: 95-98.
- Graefe, U. (1995): Gibt es bodentyp-spezifische Tiergesellschaften? Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 75: 11-14.
- Graefe, U., Gehrman, J., Stempelmann, I. (2001): Bodenzoologisches Monitoring auf EU-Level II-Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 96: 331-332.
- Graefe, U., Elsner, D.-C., Gehrman, J., Stempelmann, I. (2002): Schwellenwerte der Bodenversauerung für die Bodenbiozönose. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 98: 39-40.
- Graefe, U., Beylich, A., Hape, M. (2002): Untersuchungen zur Kongruenz von Typen der Bodenbiozönose und der Vegetation in einem Auengebiet. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 99: 185-186.
- Graefe, U. (2003): Die räumliche Vielfalt der Bodenbiozönose: Typendiversität versus Artendiversität. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 102: 283-284.
- Graefe, U. (2004): Das vertikale Verteilungsmuster der Kleinringelwurmzönose als Indikator der Prozessdynamik im Humusprofil. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 103: 27-28.
- Graefe, U. (2005): Makroökologische Muster der Bodenbiozönose. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 107: 195-196.
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2003): Bodenbiologie: Leben im Dunkeln. LUA-Infoblatt Nr. 13. <http://www.lua.nrw.de/veroeffentlichungen/infoblaetter/infoblatt13.pdf>
- Sommer, M., Ehrmann, O., Friedel, J. K., Martin, K., Vollmer, T., Turian, G. (2002): Böden als Lebensraum für Organismen – Regenwürmer, Gehäuselandschnecken und Bodenmikroorganismen in Wäldern Baden-Württembergs. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 63: 163 S.