

Aus der Sektion Biologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Wissenschaftsbereich Ökologie

## **Veränderungen von Ökosystemstrukturen im Einflußbereich eines Düngemittelwerkes**

Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme XI

Von Wolfgang Heinrich und Gerhard Schäller

Mit 2 Abbildungen und 4 Tabellen

(Eingegangen am 10. Februar 1987)

Seit Anfang der siebziger Jahre werden im NSG „Leutratal“ bei Jena und auf anderen Vergleichsflächen Struktur, Funktion und Genese relativ ungestörter naturnaher Rasenökosysteme analysiert. Durch synökologische Untersuchungen konnten Flora und Vegetation sowie ausgewählte Tiergruppen qualitativ und quantitativ erfaßt und so Aussagen zur räumlichen, zeitlichen und trophischen Einnischung der Arten gewonnen werden. Dabei ermittelte dominante Arten dienten als Beispielobjekte für autökologische Untersuchungen (Müller et al. 1978, Heinrich 1983).

Diese Arbeiten bilden die Grundlage für Erhebungen in Rasenökosystemen in der Umgebung eines Düngemittelwerkes. Mit dem Ziel, auch Aussagen zur Stabilität treffen zu können, sollten strukturelle und funktionelle Parameter dieser belasteten Systeme erfaßt und verglichen werden. Erste Ergebnisse sind bereits publiziert worden (Heinrich 1984, Müller 1985), weitere detaillierte Darstellungen über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme werden von Mitarbeitern unseres Wissenschaftsbereiches Ökologie vorbereitet, so daß an dieser Stelle eine thesenartige Übersicht gegeben werden kann (vgl. Schäller 1986).

1. Das Düngemittelwerk befindet sich in einem in nördlicher Richtung verlaufenden Flußtal (etwa 130 m NN). Randlich steigen die teilweise von einer stärkeren Lößdecke überprägten Muschelkalkhänge auf über 300 m NN an. Durch zahlreiche flachere und steilere Abstufungen sowie mehrere zum Haupttal führende Seitentälchen und Runsen ergibt sich eine auffällige Reliefierung.

Die Untersuchungen wurden vor allem werksnah an einem ostexponierten Hang entlang einer Katena in 5 bzw. 6 Probeflächen durchgeführt. Von Fläche 1 nach Fläche 6 nimmt die Immissionsbelastung zu (Abb. 1).

2. In der Umgebung des Phosphat-Düngemittelwerkes wirken Stäube und Abgase in z. T. beachtlicher Menge auf Baukörper, Böden, landwirtschaftliche und gärtnerische sowie forstliche Kulturen und auf die verschiedenen Pflanzengesellschaften ein. Dabei ergeben sich aber vor allem durch die vielfältige orographische Differenzierung im Immissionsfeld mannigfache Abwandlungen. Ohne Zweifel muß man davon ausgehen, daß die  $\pm$  starken, nicht in jedem Falle abwaschbaren Staubauflagen auf Blättern bereits zu Belastungen im Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt der Pflanzen führen. Wesentlicher aber sind in ihrer Auswirkung die chemischen Bestandteile. Aus der Kenntnis der Zusammensetzung der Rohstoffe, der Zwischen- und Finalprodukte sind an Belastungsgrößen – abgesehen vom überhöhten Phosphoreintrag – in erster Linie Natrium und Fluor zu berücksichtigen.

3. Die pH-Werte der Böden (Salm-Vega in der Aue, Löß-Rendzina und Kalkfels-Rendzina an den Hanglagen) liegen um 6,5–7,5. Unter Immissionsbedingungen steigen die Werte in Emittentennähe aber auf 8,0 und vereinzelt sogar über 9,0 an. Dabei ist ein solcher pH-Anstieg noch in tieferen Bodenschichten nachweisbar.

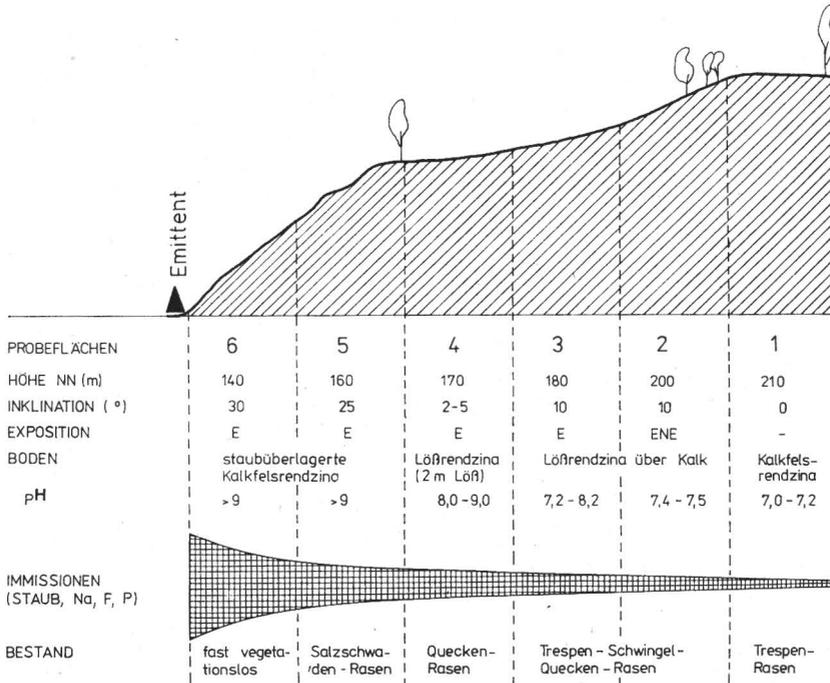


Abb. 1. Übersicht über Lage, abiotische und biotische Parameter der untersuchten Probeflächen

Im gesamten Immissionsgebiet ist der Phosphor-Gehalt der Oberböden (0-20 cm) als hoch bis sehr hoch einzuschätzen. Während unter Normalbedingungen 10-15 mg P/100 g Boden vorkommen, wurden in der Umgebung des Werkes und bis zu 2 km Entfernung mehrfach Werte über 100 mg P/100 g Boden nachgewiesen.

Im zentralen Immissionsbereich weist der Boden Gehalte von über 500 mg Natrium/100 g Boden auf. Bemerkenswert dabei ist, daß solche extrem hohen, oft schon als phytotoxisch eingeschätzten Natriumgehalte auch in tieferen Bodenschichten vorkommen. Diese Na-Kontamination führt zu Strukturzerstörungen im Boden (Dispergierung), was nicht ohne Einfluß auf die Bodenmikrofauna bleiben kann.

Auch die Fluor-Gehalte steigen in den Oberböden beachtlich an, die Normalwerte von etwa 200 ppm werden z. T. weit überschritten.

4. Unter diesen Belastungen zeigen Gehölze und Kräuter im Immissionsfeld charakteristische Schädigungssymptome. Je nach Werksentfernung, Exposition und Sensitivität sind Depigmentierung, Deformierung, Nekrotisierung und schließlich Defoliation ausgeprägt. Nur wenige Arten, insbesondere zwei Gräser (*Agropyron repens*, *Puccinellia distans*) und zwei Gehölze (*Sambucus nigra*, *Clematis vitalba*) sowie einige Asteraceae (*Sonchus arvensis*, *Lactuca serriola*) und Chenopodiaceae (*Atriplex nitens*) sind als resistent einzuschätzen.

5. An den Hanglagen waren Trespen-Halbtrockenrasen (*Onobrychido-Brometum typicum*) ausgebildet. Bei stärkeren Lößauflagen dürften zwar in den Rasen solche Arten wie

- |                              |                          |                               |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <i>Festuca rubra</i>         | <i>Cirsium arvense</i>   | <i>Cynoglossum officinale</i> |
| <i>Poa angustifolia</i>      | <i>Vicia tetrasperma</i> | <i>Rumex crispus</i>          |
| <i>Brachypodium pinnatum</i> | <i>Vicia hirsuta</i>     |                               |

einen stärkeren Anteil am Bestandesaufbau gehabt haben, doch zeigt wohl ihr vermehrtes Auftreten in den Probeflächen 2–3 die immissionsbedingten Umstrukturierungen an. Auffällig ist vor allem das Eindringen von Quecke (*Agropyron repens*), die dann zur Dominanz gelangt und in Fläche 4 fast einartige Bestände bildet. Unter noch extremeren Verhältnissen bildet der Salzschwaden *Puccinellia distans* „Monozöosen“, und schließlich fällt auch diese Grasart aus. Als Ausdruck dieser Wandlungen sollen die mittleren Zeigerwerte dienen (Tab. 1).

Tabelle 1. Mittlere Zeigerwerte (Ellenberg)

	1	2	3	4	5
L	7,2	6,9	7,3	6,6	7,5
T	5,5	5,5	5,5	6,0	6,5
K	4,1	3,8	4,2	4,2	5,8
F	4,0	4,5	4,8	4,7	4,8
R	7,3	7,0	7,3	7,8	7,5
N	3,8	5,2	5,8	6,0	6,8

Solche Queckenrasen (*Agropyron repens*-Ges., evtl. dem Convolvulo-Agropyretum zuzuordnen) und auch die Salzschwadenrasen (je nach Standortsituation dem Lolio-Plantagineum, dem Atriplicetum nitentis oder dem Puccinellio-Chenopodietum glauci anzuschließen oder als *Puccinellia distans*-Ges. zu bezeichnen) entstehen auf unterschiedlichen Substraten und aus verschiedenen Ausgangsgesellschaften. Selbst am steilen Unterhang, an dem ehemals Gebüsch mit z. T. stärkeren Bäumen stockten, dominiert derzeit *Puccinellia* in  $\pm$  geschlossenen Rasen.

6. Während auf vergleichbaren Rasen unbelasteter Standorte etwa 300 g TM/m<sup>2</sup> produziert werden, stellt man in den Queckenrasen einen beachtlich höheren Ertrag fest. Ernteproben erbrachten Werte von 500 g/m<sup>2</sup> oberirdischer TM ( $\Delta$  5 t/ha).

Auch der Salzschwaden ist unter diesen Bedingungen zu hoher Substanzproduktion fähig. Rasch aufwachsend werden im Juli etwa 300 g/m<sup>2</sup> erreicht. Nachdem die Pflanzen bzw. die Rasen fast völlig absterben, treibt *Puccinellia* im Spätsommer erneut aus, blüht und fruchtet und vermag so nochmals bis zu 100 g/m<sup>2</sup> zu bilden.

Hoch ist dabei der Streuanfall. Während aber beobachtbar ist, daß in den hochwüchsigen Queckenrasen mit ausgeglichenem, relativ feuchtem Bestandesklima der Abbau der abgestorbenen Phytomasse verzögert erfolgt, wird offensichtlich im *Puccinellia*-Rasen die Streu rascher zersetzt.

7. Die Pflanzensubstanz ist durch Natrium und Fluor kontaminiert. Zwar schwanken die Natrium-Spiegelwerte bei den einzelnen Arten, doch sind sie mit 0,3 % bis 2 % deutlich überhöht. Während Pflanzen immissionsfreier Gebiete nur bis zu 20 ppm Fluor aufweisen, wurden in der Umgebung des Werkes Werte über 50 ppm nachgewiesen. Erwähnenswert erscheint dabei, daß auch in Wurzeln hohe F-Spiegelwerte vorhanden waren und sich eine saisonale Dynamik abzeichnet. Fluor scheint vor allem in junger Phytomasse angereichert zu werden.

8. Diese Wandlungen in den Phytozönose-Strukturen bedingen auch Veränderungen in den verschiedenen Konsumentengruppen. Erfasst wurde vor allem die epigäische Arthropodenfauna, wobei während der gesamten Vegetationsperiode in etwa 14tägigen Intervallen verschiedene Fang- und Sammelmethode (Bodenfallen, Kescherfänge, Eklektoren u. a.) zum Einsatz kamen.

Auf immissionsbedingte Einflüsse reagieren in erster Linie pflanzenfressende und pflanzensaftsaugende Primärkonsumenten, wobei bestimmte Blattlaus-, Zikaden- und Wanzenarten eine deutliche Förderung erfahren. Mit steigendem Trophieniveau werden

allerdings die Belastungseinflüsse weniger nachweisbar. Substanzabbauende Diplo-poden und Isopoden sind nur schwach vertreten; der Anteil der Collembolen nimmt sehr stark zu, vor allem auch dort, wo Pflanzenwuchs bereits völlig fehlt. In Fläche 6 muß demzufolge dennoch genügend Streu, Detritus und Algenbewuchs vorhanden sein!

Infolge der extremen Belastung fallen einige Tiergruppen, die in vergleichbaren Rasen unbelasteter Gebiete reichlich vorkommen, fast völlig aus (Mollusken, Lumbriciden).

In den meist einartigen *Puccinellia*-Rasen dominieren zwei Aphidenarten (*Macrosiphum avenae* und *Atheroides brevicornis*). Im Zeitraum Juni/Juli und nochmals im September/Oktobre erreichen zu Zeiten optimaler Phytomasseentwicklung diese beiden Primärkonsumenten deutliche Abundanzgipfel mit außerordentlich hohen Individuenzahlen. Aphidophage Coccinelliden bilden zeitlich verzögert nur einen Abundanzgipfel aus, was einem typischen Räuber-Beuteverhältnis entspricht.

9. Während mit zunehmender Immissionsbelastung die Artenzahlen in den Phyto-zönosen rasch absinken, kann diese Tendenz nur für die pflanzensaftsaugenden Zikaden belegt werden. Die phytophagen Heteropteren sowie Zoophage weisen in allen Fällen  $\pm$  gleiche Artenzahlen auf, Dipteren erscheinen sogar unter den Extrembedingungen der Fläche 4 mit den meisten Arten. Die Anzahl der Arthropodenarten kann also nicht als Maß für die Belastungssituation dienen (Tab. 2). Sowohl bei den Phytophagen als auch bei Zoophagen ist dagegen eine Zunahme der Individuenzahlen mit steigender Belastung zu verzeichnen (Tab. 3).

Tabelle 2. Anzahl der Arten in den Untersuchungsflächen der industrienahen Katena

Tiergruppen	Flächen 5	4	3	2	1
<i>Phytophage</i>					
Heteroptera	12	8	10	13	10
Cicadina	27	22	37	34	38
Diptera	89	127	120	119	113
Summe:	128	157	167	166	161
<i>Zoophage</i>					
Diptera	13	18	15	11	14
Heteroptera	4	5	4	2	3
Arachnida	24	25	23	29	28
Summe:	41	48	42	42	45

10. Zur Wertung der Arten-Individuen-Relationen der einzelnen Untersuchungsflächen wurde das Diversitätsmaß nach Shannon-Wiener benutzt. Der Vergleich der Werte (Tab. 4) zeigt bei allen untersuchten Tiergruppen eine Abnahme der Mannigfaltigkeitsindices von Fläche 1 nach Fläche 5; besonders deutlich ist dieses Absinken der Diversitäts- und Evenness-Werte bei den Zikaden und Heteropteren, aber auch bei Dipteren.

Ermittelt man Dominanzwerte, so ergibt sich bei graphischer Darstellung aus der Steilheit des Kurvenverlaufs ein Hinweis auf den Störungsgrad. Sowohl bei den Zikaden als auch bei Dipteren werden die Dominanzverhältnisse mit steigender Belastung unausgeglichen. Die 2 bis 3 häufigsten Arten stellen mehr als 50 % der Gesamt-

Tabelle 3. Anzahl der Individuen in den Untersuchungsflächen der industrienahen Katena

Tiergruppen	Flächen	5	4	3	2	1
<i>Phytophage</i>						
Cicadina		6 457	27 196	9 318	7 236	10 640
Heteroptera		8 833	984	548	236	779
Diptera		13 118	9 207	4 766	3 351	5 021
	Summe:	28 408	37 387	14 632	10 823	16 440
<i>Zoophage</i>						
Heteroptera		12	70	78	68	32
Diptera		297	322	92	64	60
Arachnida		801	1 246	1 086	929	504
	Summe:	1 110	1 638	1 256	1 061	596

Tabelle 4. Diversität (D) und Evenness (E) in den Untersuchungsflächen der industrienahen Katena (Stednitz)

Tiergruppen		Flächen	5	4	3	2	1
Cicadina	D		1,64	1,45	2,13	2,16	2,00
	E		0,50	0,47	0,61	0,61	0,55
Heteroptera	D		0,15	0,66	1,10	1,41	0,95
	E		0,05	0,26	0,42	0,52	0,37
Diptera	D		1,93	2,40	3,28	3,16	3,11
	E		0,42	0,48	0,67	0,65	0,64
Arachnida	D		2,78	2,14	2,34	2,40	2,97
	E		0,73	0,59	0,64	0,62	0,77

individuenzahlen. Bei zoophagen Tiergruppen (Arachnida) werden (allerdings weniger deutlich) ähnliche Tendenzen angezeigt (Abb. 2).

11. Bei einigen Tiergruppen ist zwar teilweise nachweisbar, daß stenöke Mesobromion-Arten ausfallen und euryöke Ubiquisten (wie z. B. die Zikade *Errastunus ocellaris*) zunehmen, doch setzen sich auf den belasteten Flächen bevorzugt Arten mit spezifischen Biotopansprüchen durch. Unter diesen Spezialisten fallen vor allem halobionte bzw. halophile Vertreter auf, die sonst nur von Salzstandorten bekannt sind, demzufolge hier als Indikatoren der spezifischen Belastung zu werten sind. Von diesen sollen genannt sein:

Diptera:	<i>Pelomyiella mallochi</i>
	<i>Aphanotrogonum cinctellum</i>
	<i>Scatophila cribrata</i>
	<i>Oscinimorpha albisetosa</i>
	<i>Limnospila albifrons</i>
Cicadina:	<i>Macrosteles sordidipennis</i>
	<i>Eurybregma nigrolineata</i>
Heteroptera:	<i>Trigonotyllus ruficornis</i>
	<i>Nabis major</i>

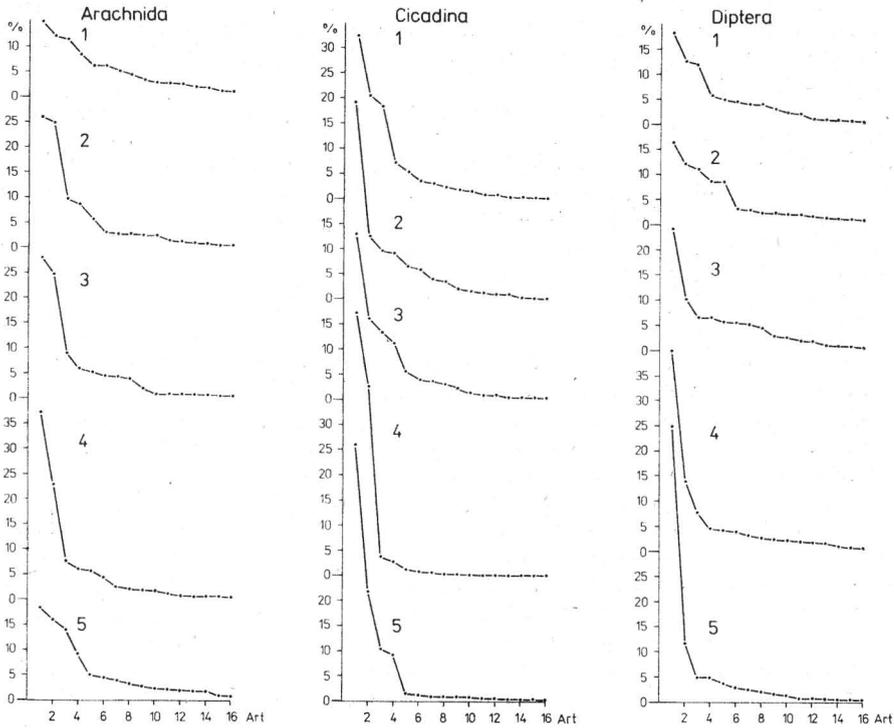


Abb. 2. Dominanzstrukturen der Arachnida, Cicadina und Diptera in den Probeflächen 1-5

12. Wenn man davon ausgeht, daß sich bis zu einem gewissen Grade Stabilität eines Systems in der Zeitkonstanz seiner Elemente (Persistenz) widerspiegelt und dann für den Untersuchungszeitraum den prozentualen Anteil zeitkonstanter Arten ermittelt bzw. aus der Multiplikation von Artenidentität (Jaccard) und Dominantenidentität (Renkonen) mit dem Vajnsstein-Index auch einen Ausdruck für die Persistenz von Populationen findet, dann ergeben sich für einzelne Tiergruppen hohe Persistenzwerte gerade unter Belastungsbedingungen.

Aus dieser Feststellung folgt, daß sich offensichtlich nach einer Phase hoher Instabilität – gekennzeichnet durch Artenwechsel, Rückgang der Artenzahl, Abundanz-erhöhung spezifischer Arten, Absinken von Diversität und Evenness – ein neuer Zustand eingestellt hat. Die unter Immissionseinfluß entstandenen Rasen erweisen sich dann als sehr stabil; stabil freilich nur solange die Extrembelastungen anhalten.

Für unsere weiteren Untersuchungen zeichnet sich die Möglichkeit ab, nach Beendigung der Düngemittelproduktion auch die Regeneration dieser gestörten Flächen verfolgen zu können.

### Zusammenfassung

In der Umgebung eines Phosphatdüngemittelwerkes sind in den letzten Jahren floristisch-vegetationskundliche und ökofaunistische Erhebungen zur Erfassung der Auswirkungen industrieller Belastungen auf Struktur, Funktion und Genese terrestrischer Ökosysteme durchgeführt worden.

Durch die staub- und gasförmigen Emissionen des Werkes werden in den Schadzonen des Immissionsfeldes bodenphysikalische und bodenchemische Parameter beeinflusst. Bei veränderten Spiegelwerten, insbesondere von Natrium und Fluor in der Pflanzensubstanz

zeigen Gehölze und Kräuter charakteristische Schädigungssymptome. Nur wenige Arten erweisen sich als resistent. Steigende Belastung führt vor allem in den Rasengesellschaften zu Umstrukturierungen. *Agropyron repens* und *Puccinellia distans* bilden schließlich fast einartige Phytozönosen.

Diese Wandlungen bedingen auch Veränderungen in den verschiedenen Konsumenten-  
gruppen. Ganze Tiergruppen verschwinden aus den Beständen, andere verändern sich hinsichtlich der Artengarnitur und der Arten-Individuen-Relationen erheblich. Es bilden sich neue Dominanzverhältnisse aus. Bemerkenswert ist auch, daß in den extrem belasteten Flächen halophile Arten besonders gefördert werden.

Bei Berücksichtigung der Zeitkonstanz von Arten bzw. Tiergruppen (Persistenz) erweisen sich die belasteten Ökosysteme als auffallend stabil.

#### S c h r i f t t u m

- Heinrich, W.: Die Literatur über das Naturschutzgebiet „Leutratal“ bei Jena (Thüringen).  
Veröff. Mus. Stadt Gera, naturwiss. R. 9 (1981/1983) 83–94.
- Heinrich, W.: Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. III. Beobachtungen im Immissionsgebiet eines Düngemittelwerkes. Wiss. Z. Friedrich-Schiller-Univ. Jena, naturwiss. R. 33 (1984) 251–289.
- Müller, H. J.: Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. VII. Zikaden als Zeigerarten für immissionsbelastete Rasenökosysteme. Wiss. Z. Friedrich-Schiller-Univ. Jena, naturwiss. R. 34 (1985) 491–502.
- Müller, H. J., R. Bährmann, W. Heinrich, R. Marstaller, G. Schäller und W. Witsack: Zur Strukturanalyse der epigäischen Arthropodenfauna einer Rasenkatena durch Kescherfänge. Zool. Jb. Syst. 105 (1978) 131–184.
- Schäller, G.: Untersuchungen zur Struktur und Funktion von belasteten und naturnahen Rasenökosystemen durch syn- und autökologische Analyse. Forschungsber., Mskr. Jena 1986.

Doz. Dr. Gerhard Schäller  
Dr. Wolfgang Heinrich  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Sektion Biologie  
Wissenschaftsbereich Ökologie  
Neugasse 24  
Jena  
DDR - 6900