

ANALYSE DER WIRKUNGEN LUFTGETRAGENER STOFFE IM ÖKOSYSTEM DAUERGRÜNLAND

Ludger Grünhage, Hans-Jürgen Jäger, Ulrich Dämmgen und Udo Hertstein

ABSTRACT

Comparisons of species composition of grassland ecosystems in 1951/53 and in 1984/85 and retrospective analysis of major components of the chemical climate in South East Lower Saxony are discussed. They lead to the hypothesis that changes of the chemical climate have an influence on the vegetation compartment of grassland ecosystems. Open-top chamber experiments with filtered and nonfiltered air illustrate that this assumption is correct. Even in this moderately polluted area the yields in biomass obtained in filtered chambers were up to 14 % higher than in nonfiltered chambers. Effects on the species composition were less pronounced, but also measurable.

keywords: *grassland ecosystems, Trifolium ssp., chemical climate, SO₂, O₃, NO_x, open-top chambers*

1. EINFÜHRUNG

Schwefeldioxid, Ozon, Stickoxide und Ammoniak sind als entscheidende, den landwirtschaftlichen Pflanzenbau sowie die spontane Vegetation beeinflussende Gase anzusehen. Dies gilt insbesondere für die im Freiland in der Regel vorherrschende kombinierte Einwirkung. Neben den direkten Wirkungen auf die oberirdischen Pflanzenorgane können die Stoffeinträge aus der Atmosphäre sowie die dadurch veränderten Stoffbilanzen Ursachen für Veränderungen der Entwicklung eines Ökosystems sein.

Die Komplexität natürlicher Ökosysteme bedingt, daß es aus methodischen und arbeitstechnischen Gründen prinzipiell nicht möglich ist, die Struktur und Entwicklung eines Ökosystems in allen Einzelheiten zu erfassen. Die zu lösenden Probleme können nur anhand eines reduktionistischen Erfassungsmodell erarbeitet werden, das aber lediglich ein vereinfachtes Bild des realen Ökosystems mit einer Einengung auf grobe Strukturen liefern kann.

In einem ersten Untersuchungsansatz sollte die Frage geklärt werden, ob sich aus einer retrospektiven Analyse der Artenzusammensetzung der Vegetation von Dauergrünlandökosystemen in Südostniedersachsen sowie des regionalen chemischen Klimas Indizien für Auswirkungen einer chronischen Belastung mit luftgetragene Stoffen auf Ökosystemebene ergeben. Aus derartigen Untersuchungen lassen sich Hypothesen formulieren, eine kausalanalytische Argumentation kann daraus jedoch nicht entwickelt werden. Sie setzt vielmehr voraus, daß detaillierte Kenntnisse über einzelne Wirkmechanismen vorliegen. Diese erhält man aus Experimenten im betrachteten Ökosystem, wobei mögliche Einflußfaktoren kontrolliert variiert werden. Im Hinblick auf unsere Fragestellung kann dies durch diskontinuierliche bzw. kontinuierliche Zudosierung von Schadgasen in unterschiedlichen Mustern oder durch Schadstoffausschluß geschehen. Aus ökotoxikologischer Sicht geht es jedoch letztlich darum, Abweichungen von der "Norm", d.h. vom unbelasteten Zustand, zu ermitteln, die durch die real herrschenden Immissionen verursacht werden. Bei dieser Betrachtungsweise ist der Schadstoffausschluß der zu favorisierende Ansatz. Es ist sinnvoll, derartige Untersuchungen an komplexen Systemen durch experimentelle Ansätze mit Modellsystemen zu begleiten bzw. zu stützen (GUDERIAN und REIDL 1982). Eine kausalanalytische Argumentationskette ist erst dann vollständig, wenn solche experimentellen Befunde in ein prozeßorientiertes Modell implementiert werden und

dieses Modell im Einklang mit den Beobachtungen steht. Dazu sind freilandrelevante Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu erstellen.

Im vorliegenden Beitrag berichten wir über Ergebnisse einer retrospektiven Analyse sowie über erste Ergebnisse eines vierjährigen Experimentes mit open-top-Kammern (Schadstoff-ausschluß).

2. MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchungsgebiete bzw. -flächen und die eingesetzten Meß- und Analysemethoden sind im Detail bei GRÜNHAGE et al. (1987) sowie JÄGER et al. (1988) beschrieben.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Retrospektive Analyse

Es wurde geprüft, ob und in welchem Ausmaß auf Grünlandflächen im Großraum Braunschweig, deren früherer Pflanzenbestand aus Kartierungen in den Jahren 1951/53 bekannt war, Vegetationsveränderungen festzustellen sind, die als direkte oder indirekte Folge einer zunehmenden Immissionsbelastung interpretiert werden können. Hierzu wurden insgesamt 156 Flächen aufgesucht. Bereits bei ersten Begehungen der Untersuchungsgebiete konnten Veränderungen des Landschaftsbildes und der Grünlandvegetation festgestellt werden, die die inzwischen wesentlich intensivierete landwirtschaftliche Flächennutzung widerspiegeln (Tab. 1). Binnenentwässerung und nachfolgende Umwandlung von Grün- in Ackerland waren im Großen Bruch (östlich von Hornburg) und im Hahnenmoor (nordwestlich von Gifhorn) besonders flächenwirksam.

Tab. 1: Änderungen der Hauptnutzungsform auf ehemaligen Dauergrünlandflächen in Kartierungsgebieten im Großraum Braunschweig von 1951/53.

Gebiet	Flächenanteil (in %)					
	1952		1984/85			
	Wiesen	Weiden/ (Mähweiden?)	Wiesen	Weiden/ Mähweiden	Acker-/ Feldfutterbau	Grünlandbrache & sonstiges ¹⁾
Okertal	100	-	34	22	32	12
Allertal	96	4	38	20	42	-
Hahnenmoor	-	100	-	40	60	-
Großes Bruch	93	7	-	5	95	-
insgesamt (156 Flächen)	84,6	15,4	54,5	21,2	19,2	5,1

¹⁾ zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht unter geregelter Nutzung stehende oder nicht mehr landwirtschaftlich genutzte Flächen (z.B. Aufforstungen)

Zur Dokumentation von Vegetationsveränderungen und für eine Auswertung unter Anwendung der Zeigerwerte von ELLENBERG (1979) konnten nur noch 43 Vegetationsaufnahme-paare der Untersuchungsgebiete Oker- und Allertal herangezogen werden. Die mittlere Artenzahl pro Aufnahme-fläche hatte signifikant abgenommen: Von den 1952 insgesamt vorhandenen 119 Arten konnten bei der Wiederholungsuntersuchung lediglich 62 gefunden werden, von den heute vorkommenden 84 Arten fehlten 22 in den früheren Aufnahmen. Auf fast 90 % der Flächen sind die Verschiebungen im Artenspektrum derart tiefgreifend, daß am jeweils gleichen Ort eine völlig andere Pflanzengesellschaft vorgefunden wird. So sind die nach MEISEL (1983) im gesamten norddeutschen Flachland als gefährdet geltenden Dotterblumenwiesen (*Senecio-Brometum racemosi*), die 1952 noch auf 51 % der Standorte vorkamen, nur mehr als Fragmentgesellschaft angetroffen worden. Bodensaure Pfeifengraswiesen (*Junco-Molinietum*), 1952 auf 26 % der Standorte vorkommend, existierten in den Untersuchungsgebieten überhaupt nicht mehr. Die Entwässerungsmaßnahmen spiegeln sich deutlich in der Verschiebung des Zeigerspektrums für die Bodenfeuchte wider (Tab. 2a). Eine höhere Stetigkeit als früher erreichen die Stickstoffzeiger (Tab. 2b). Säurezeiger sind unter den Arten mit Stetigkeitszunahme nicht vertreten. Die als SO₂- und O₃-empfindlich geltenden Leguminosen *Trifolium pratense* und *T. repens* (STEUBING 1981; CORNELIUS et al. 1985; ASHMORE et al. 1988) waren in den Wiederholungsuntersuchungen seltener vorhanden (Tab. 2a).

Eine hypothetische Erklärung solcher Vegetationsveränderungen mit Verschiebungen im chemischen Klima setzt zumindest voraus, daß Einzelheiten über Konzentrationen und Flüsse relevanter Schadstoffe für den gesamten Zeitraum bekannt sind. Abschätzungen der jährlichen anthropogenen Emissionen in der BR Deutschland liegen für SO₂ und Staub seit 1960, für die Stickoxide NO_x seit 1966 vor. Erste Messungen von Stoffkonzentrationen in der Umgebungsluft im Großraum Braunschweig stammen aus dem Jahr 1971. Kontinuierliche Messungen werden seit 1979 durchgeführt (vgl. GRÜNHAGE et al. 1988).

Die zur Verfügung stehenden Daten lassen den Schluß zu, daß die SO₂-Konzentrationen im Untersuchungsgebiet bis etwa 1970 zunahmen und sich seitdem deutlich verringert haben. Die Immissions-situation wird durch winterliche Smog-Episoden geprägt (vgl. DÄMMGEN et al. 1987). Das Untersuchungsgebiet Großes Bruch ist dabei wohl das am stärksten belastete, etwas geringer sind dagegen die Untersuchungsgebiete Allertal und Hahnenmoor belastet.

Für die Stickoxidkonzentrationen läßt sich ein kontinuierlicher Anstieg über die Zeit ableiten. Dabei nimmt die Belastung mit steigender Entfernung von Braunschweig ab.

Für Ammoniak und Ozon liegen für den Zeitraum 1951 - 1985 keine verwertbaren Konzentrationsmessungen in der Umgebungsluft im Großraum Braunschweig vor. Untersuchungen der Entwicklung der O₃-Konzentrationen in Mitteleuropa lassen jedoch auch für das Untersuchungsgebiet einen Anstieg der O₃-Belastung über die Zeit vermuten (vgl. DÄMMGEN et al. 1990).

Die Stetigkeitsabnahme der als schadgasempfindlich beschriebenen Leguminosen *Trifolium repens* und *T. pratense* bei relativ hohen SO₂- und sich über die Zeit erhöhenden O₃-Belastungen sowie die Zunahme von Stickstoffzeigern bei gleichzeitiger Zunahme der Belastung mit Stickoxiden führen zur Hypothese, daß Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden des Ökosystems Dauergrünland vorhanden sind. Da die im Gebiet beobachteten Vegetationsveränderungen auch das Resultat direkter anthropogener Eingriffe (z.B. steigende N-Düngung) sein können und in ähnlichen Untersuchungen auch ausschließlich als solche interpretiert werden (z.B. MEISEL 1983), kann jedoch eine differenzierte Bewertung der ökosystemaren Konsequenzen der aktuellen Luftqualität und von Managementmaßnahmen nur durch geeignete experimentelle Untersuchungsansätze erfolgen (vgl. JÄGER et al. 1988; HERTSTEIN et al. 1991).

3.2. Einfluß der Luftqualität auf die Vegetationsentwicklung und die Ertragsentwicklung eines Dauergrünlandes

Zum kausalanalytischen Nachweis von möglichen Auswirkungen der herrschenden Schadstoffbelastung auf Vegetation und Boden eines Grünlandökosystems wurden 8 Teilflächen einer ehemaligen Mähweide im Herbst 1986 mit open-top Kammern ausgerüstet und kontinuierlich bis zum Ende der Vegetationsperiode 1989 mit aktivkohle-gefilterter bzw. ungefilterter Umgebungsluft versorgt.

Tab. 2a: Stetigkeitsveränderungen von Grünlandarten in den Untersuchungsgebieten Oker- und Allertal.

Stetigkeitsabnahme > 10 %

	Veränderung (%)	Stetigkeitsklasse 1952	Stetigkeitsklasse 1984/85	Zeigerwerte nach ELLENBERG (1979)		
				F-Zahl	R-Zahl	N-Zahl
Kennarten der Feuchtwiesengesellschaften und andere Feuchtezeiger						
<i>Filipendula ulmaria</i> ²⁾	-51	IV	I	8	X	4
<i>Angelica silvestris</i>	-44	III	s ¹⁾	8	X	X
<i>Lotus uliginosus</i>	-44	III	s	8 ⁻	4	4
<i>Carex gracilis</i>	-40	III	I	9 ⁼	6	4
<i>Galium uliginosum</i>	-35	II	fehlt	8 ⁻	X	X
<i>Caltha palustris</i>	-35	III	s	8 ⁼	X	X
<i>Equisetum palustre</i>	-33	III	s	7	X	3
<i>Achillea ptarmica</i>	-33	III	I	8 ⁻	4	2
<i>Glyceria maxima</i>	-28	II	s	10 ⁻	8	9
<i>Succisa pratensis</i>	-26	II	fehlt	7	X	2
<i>Juncus articulatus</i>	-21	II	s (1x)	8	X	2
<i>Juncus effusus</i>	-19	II	s	7	3	4
<i>Senecio aquaticus</i>	-16	I	fehlt	8	4	5
<i>Juncus filiformis</i> ³⁾	-16	I	fehlt	8	4	3
<i>Cirsium palustre</i>	-14	II	s	8	4	3
<i>Galium palustre</i>	-14	I	fehlt	9 ⁼	X	4
<i>Ranunculus flammula</i>	-14	I	s	9 ⁻	3	2
<i>Carex nigra</i>	-12	I	fehlt	8 ⁻	3	2
Klassencharakterarten und Sonstige						
<i>Trifolium pratense</i>	-53	IV	s	X	X	X
<i>Ranunculus acris</i>	-51	IV	I	X	X	X
<i>Plantago lanceolata</i>	-47	IV	II	X	X	X
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	-47	III	s	X	5	X
<i>Lysimachia nummularia</i>	-37	II	s (1x)	6	X	X
<i>Daucus carota</i>	-35	II	s	4	X	4
<i>Festuca rubra</i>	-33	III	I	X	X	X
<i>Rumex acetosa</i>	-28	IV	II	X	X	5
<i>Holcus lanatus</i>	-28	IV	III	6	X	4
<i>Bellis perennis</i>	-26	II	s	X	X	5
<i>Leontodon autumnalis</i>	-23	III	II	5	4	X
<i>Prunella vulgaris</i>	-19	I	fehlt	X	4	X
<i>Festuca ovina</i> agg.	-19	I	fehlt			
<i>Trifolium repens</i>	-16	IV	III	X	X	7
<i>Festuca pratensis</i>	-16	III	II	6	X	6
<i>Centaurea jacea</i>	-16	I	fehlt	X	X	X
<i>Lathyrus pratensis</i>	-14	I	s	6	7	6

Tab. 2b: Stetigkeitsveränderungen von Grünlandarten in den Untersuchungsgebieten Oker- und Allertal.

Stetigkeitszunahme > 10 %

	Veränderung (%)	Stetigkeitsklasse		Zeigerwerte nach ELLENBERG (1979)		
		1952	1984/85	F-Zahl	R-Zahl	N-Zahl
<i>Elymus repens</i>	+56	I	IV	5~	X	8
<i>Urtica dioica</i>	+37	fehlt	II	6	6	8
<i>Stellaria media</i>	+30	fehlt	II	4	7	8
<i>Phalaris arundinacea</i>	+30	I	III	8=	7	7
<i>Poa trivialis</i>	+28	III	IV	7	X	7
<i>Poa annua</i>	+28	s (1x)	II	6	X	8
<i>Poa pratensis</i>	+26	I	II	5	X	6
<i>Rumex obtusifolius</i>	+26	s	II	6	X	9
<i>Alopecurus pratensis</i>	+23	IV	V	6	6	7
<i>Alopecurus geniculatus</i>	+21	s	II	9=	7	7
<i>Cerastium holosteoides</i>	+21	I	II	5	X	5
<i>Arrhenatherum elatius</i>	+14	I	II	5	7	7
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	+14	fehlt	I	X	X	5
<i>Ranunculus repens</i>	+12	IV	V	7~	X	X
<i>Lolium perenne</i>	+12	I	II	5	X	7
<i>Galeopsis tetrahit</i>	+12	fehlt	I	5	X	7

1) s = < 10%

2) Die Nomenklatur folgt OBERDORFER (1983).

3) Gehört zu den in Niedersachsen gefährdeten Arten (vgl. HEUPLER et al, 1976). Weitere Arten der "Roten Liste Niedersachsens", die 1952 mit der Stetigkeit "s" vorkamen und 1984/85 nicht mehr angetroffen wurden, sind: *Armeria elongata*, *Bromus racemosus*, *Carex lasiocarpa*, *Dactylorhiza maculata*, *Galium boreale*, *Silvaum silaus*.

Der relativ homogene Pflanzenbestand der Versuchsfläche kann dem Vegetationstypus des *Lolio-Cynosuretum typicum* (vgl. JÄGER et al. 1988) zugeordnet werden und repräsentiert damit eine der gegenwärtig wichtigsten Pflanzengemeinschaften in den Untersuchungsgebieten der retrospektiven Analysen sowie im nordwestdeutschen Flachland insgesamt. Vor Aufbau der open-top-Kammern im Herbst 1986 wurde die Biomasse der Bestände hauptsächlich von den Gräserarten *Poa pratensis*, *P. trivialis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, daneben von den Kräutern *Taraxacum officinale* und *Achillea millefolium* sowie der (einzigen) Leguminose *Trifolium repens* gebildet.

Notwendige Voraussetzung für Untersuchungen mit open-top Kammern in komplexen Ökosystemen ist die Prüfung der statistischen Gleichheit der Flächen vor Versuchsbeginn. Diese Überprüfung erfolgte in der Vegetationsperiode 1986. Mittels einer vierfaktoriellen Varianzanalyse wurden die Erträge der oberirdischen Biomasse der späteren mit gefilterter bzw. ungefilterter Umgebungsluft versorgten Flächen nach log-Transformation statistisch verrechnet. Als Faktoren gingen in die Analyse die "Behandlung" (gefiltert, ungefiltert), der Erntetermin (Variabilität des physikalischen Klimas), der Block (räumliche Variabilität des Bodens) und die Wiederholung (Variabilität der Flächen innerhalb einer Kammer) ein. Die Interaktion wurde für die Faktoren Behandlung und Erntetermin (Saisonalität) berechnet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 97 % für die Gleichheit der späteren mit gefilterter bzw. ungefilterter Luft versorgten Flächen war eine optimale Ausgangslage für die Untersuchung der Auswirkungen von Schadgasen auf die Ertragsentwicklung gegeben.

Die ertragskundlichen Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Die vierfaktorielle Varianzanalyse aller gewonnenen Daten (log-transformiert) der jeweiligen Untersuchungsjahre zeigte einen signifikanten Einfluß der Luftfilterung auf die mittleren Erträge 1989 ($p = 0,01$), während der Einfluß 1987 nicht so stark war ($p = 0,12$). Für das Untersuchungsjahr 1988 Betrug der

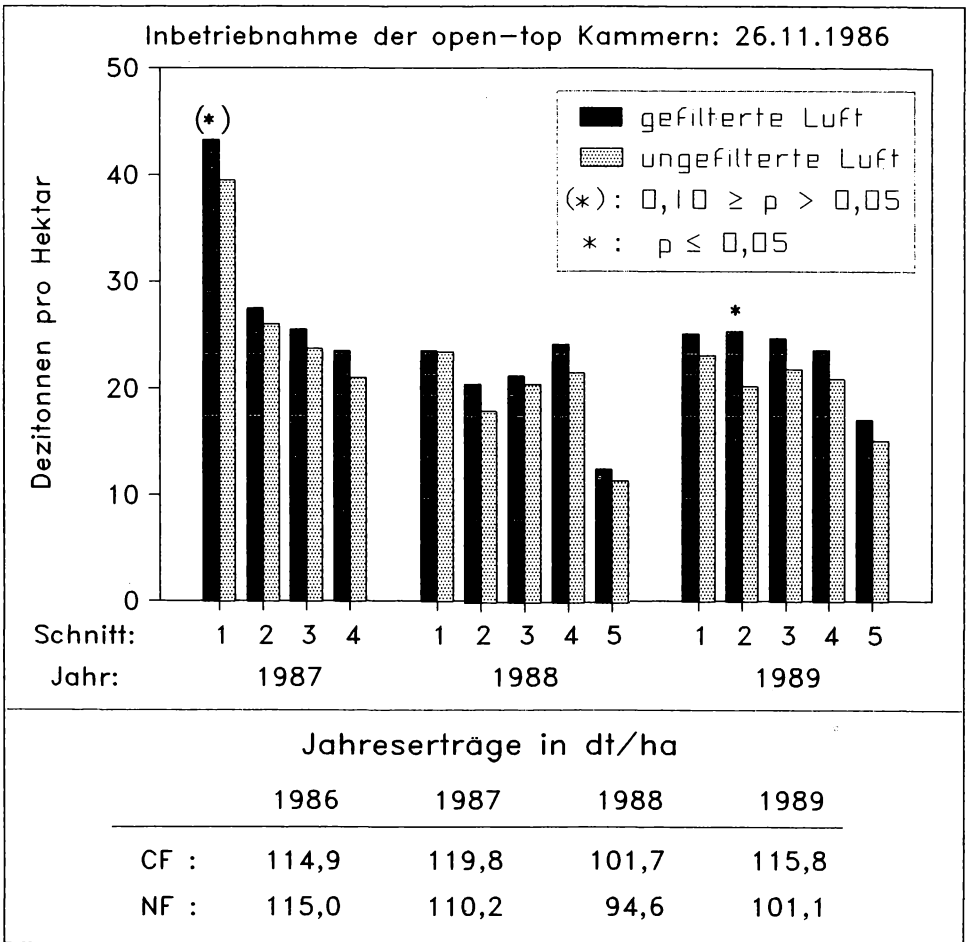


Abb. 1: Auswirkungen der Luftbelastung auf die Ertragsentwicklung in einem Dauergrünland - Ergebnisse eines Experimentes mit open-top-Kammern.

p-Wert lediglich 0,73. Die Jahreserträge wurden durch die Luftfilterung 1987 um 8,7 %, 1988 um 7,5 % und 1989 um 14,5 % gesteigert. Die bei den Einzelernnten ermittelten Ertragsunterschiede zwischen den Flächen mit bzw. ohne Luftfilterung wurden jeweils mittels zweifaktorieller Varianzanalysen (Faktor 1 = Behandlung, Faktor 2 = Block) auf Signifikanz geprüft. Lediglich im 2. Aufwuchszeitraum 1989 war der Mehrertrag in den Kammern mit gefilterter Luft signifikant. Die Immissionsituation in diesem Aufwuchszeitraum ist in Abb. 2 dargestellt. Im Freiland und in den open-top Kammern mit ungefilterter Luft ist ein ausgeprägter O₃-Tagesgang mit je einer mittleren Amplitude von 83 µg O₃/m³ Luft zu verzeichnen. Der Scheitelpunkt des Kurvenverlaufes wird gegen 15 Uhr MEZ erreicht. Durch die Luftfilterung wird der Tagesgang weitgehend nivelliert. Die mittlere Amplitude beträgt lediglich 18 µg O₃/m³ Luft. Die mittlere O₃-Belastung in den Kammern mit gefilterter Umgebungsluft entspricht mit 21 µg O₃/m³ Luft in etwa der O₃-Immissionsituation in vorindustrieller Zeit in Mitteleuropa (vgl. DÄMMGEN et al. 1990). Daneben ist ein ausgeprägter mittlerer SO₂-Tagesgang zu verzeichnen: der Scheitelpunkt des Kurvenverlaufes wird

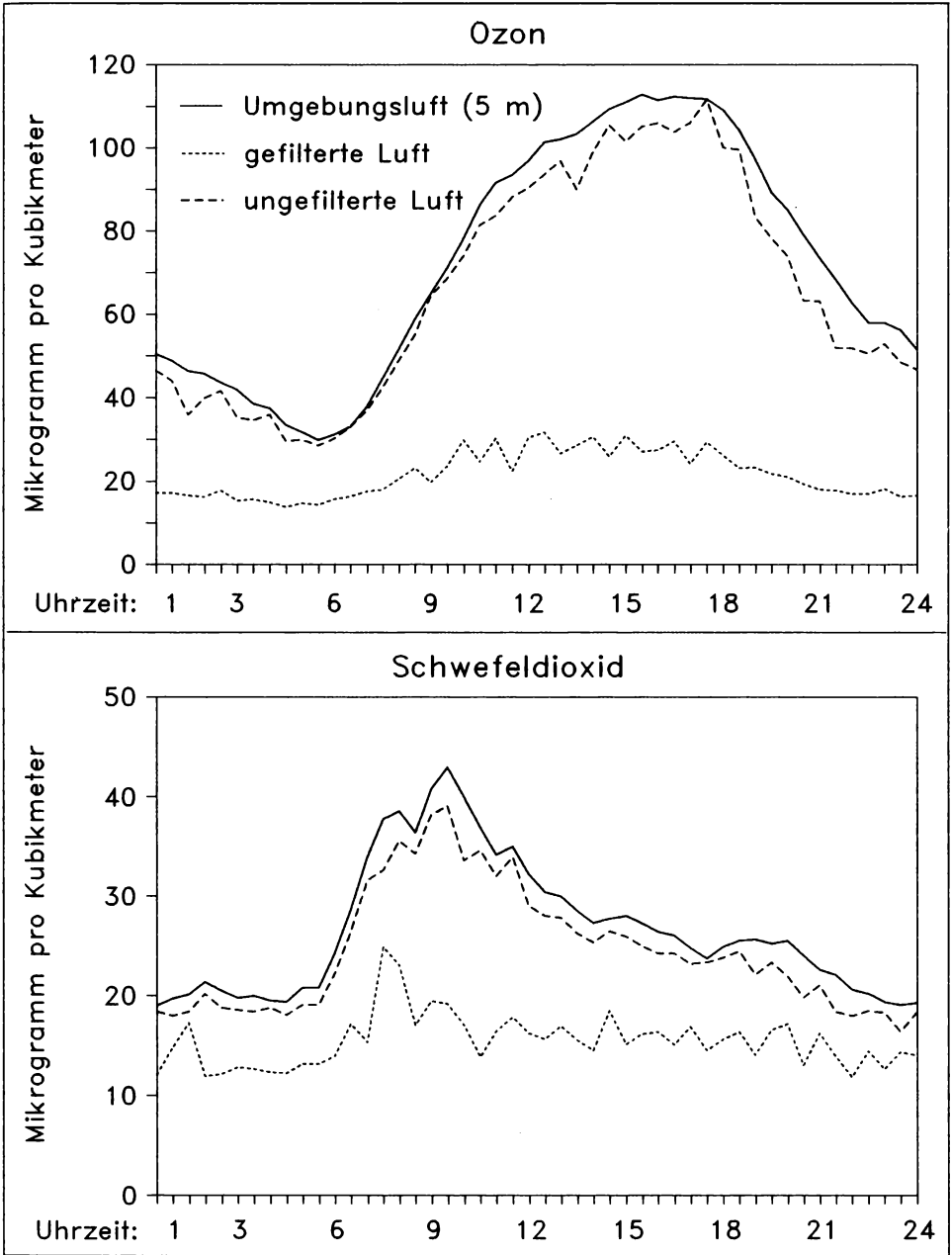


Abb. 2: Mittlere Tagesgänge der O₃- und der SO₂-Konzentration vom 9.5. - 14.6.1989 (2. Aufwuchszeitraum).

durchgezogene Linien: Konzentrationen in der Umgebungsluft in 5 m Höhe
 gestrichelte Linien: Konzentrationen in den Kammern mit ungefilterter Luft
 punktierte Linien: Konzentrationen in den Kammern mit gefilterter Luft

gegen 9 Uhr MEZ erreicht; die Amplitude beträgt $23 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft im Freiland bzw. in den Kammern ohne Luftfilterung. Die mittlere Immissionssituation des 2. Aufwuchszeitraumes 1989 war demnach durch hohe SO_2 -Konzentration in den Vormittagsstunden und hohe O_3 -Konzentrationen am frühen Nachmittag geprägt. Die mittleren Schadgaskonzentrationen betragen dabei $73 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ bzw. $27 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft im Freiland, $66 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ bzw. $25 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft in den Kammern ohne und $21 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ bzw. $16 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft in den Kammern mit Luftfilterung.

Veränderungen der Zusammensetzung der oberirdischen Biomasse im Untersuchungszeitraum werden aus Abb. 3 ersichtlich. Die Inbetriebnahme der Kammern im November 1986 führte generell zu einer Verminderung des prozentualen Anteils der funktionalen Hauptgruppen Kräuter und Leguminosen am Gesamtertrag. Nach dem 3. Schnitt 1987 war *Trifolium repens* in allen Kammern nur noch in Spuren vorhanden. In ungefilterter Luft nahm der Kräuteranteil zugunsten der Gräser im Mittel stärker ab als in gefilterter Luft. Die Auswertung regelmäßiger Vegetationsaufnahmen nach BRAUN-BLANQUET in den open-top-Kammern ergab keinen signifikanten Einfluß der Luftqualität auf die Gesamtartenzahl, doch traten annuelle Arten, namentlich *Stellaria media*, in ungefilterter Luft signifikant häufiger auf. Dies deutet auf stärkere Bestandesstörungen in ungefilterter Luft hin. Weiterhin zeigten sich signifikante Verschiebungen im Stoffhaushalt sowie in der mikrobiellen Biomasse des Bodens.

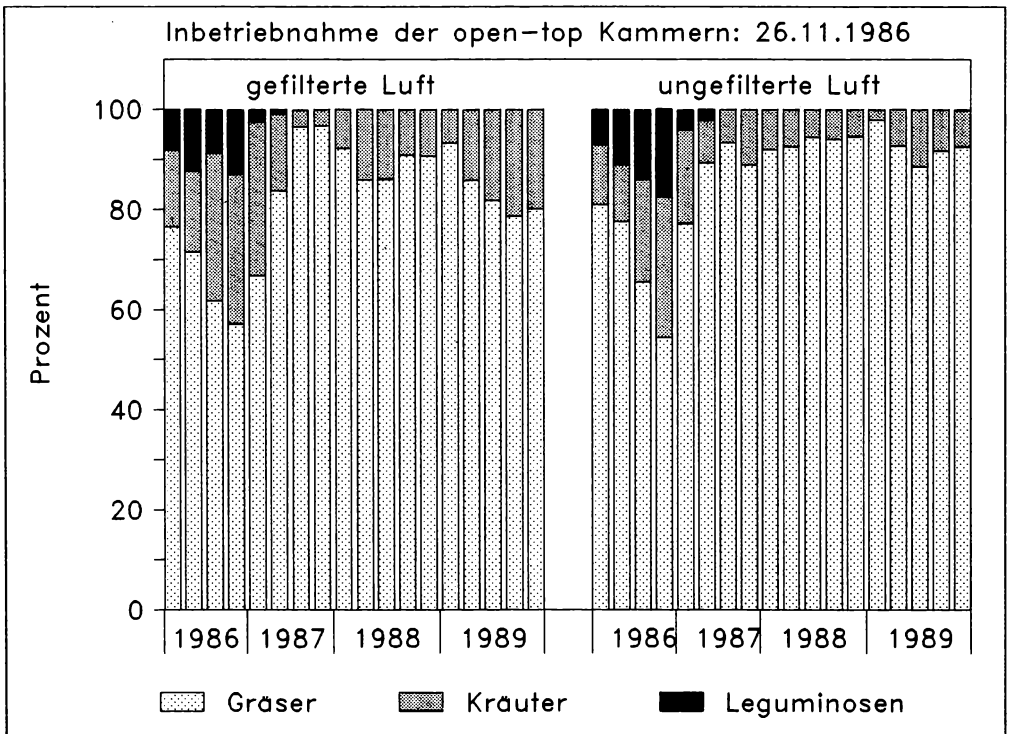


Abb. 3: Entwicklung der Ertragsanteile der Hauptgruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen in gefilterter und ungefilterter Umgebungsluft.

4. ZUSAMMENFASSENDE SCHLUBBETRACHTUNG

Ergebnisse retrospektiver Analysen der Artenzusammensetzung von Grünlandbeständen im Großraum Braunschweig und der Entwicklung der regionalen Luftqualität führten zur Hypothese, daß nachweisbare Vegetationsveränderungen als Indiz für eine chronische direkte und/oder indirekte Auswirkung der herrschenden Immissionsbelastung auf Dauergrünland-Ökosysteme gelten können. Zum kausalanalytischen Nachweis solcher Auswirkungen auf biologische Zustandsgrößen eines Dauergrünland-Ökosystems wurden open-top-Kammern eingesetzt. Beim Vergleich von open-top-Kammern mit und ohne Luftfilterung sind alle übrigen, die Schadgaswirkung modifizierenden Faktoren als gleich anzusetzen. Die hier dargestellten ersten Ergebnisse dieser Untersuchung belegen einen signifikanten und negativen Einfluß der herrschenden Luftqualität auf die Produktivität des Bestandes. Auch auf der Ebene der Artenzusammensetzung war ein Einfluß der Luftqualität festzustellen. Eine unterschiedliche Entwicklung des Leguminosenanteils (*Trifolium repens*) in gefilterter bzw. ungefilterter Luft, war - im Gegensatz zu den Ergebnissen einer Pilotstudie mit open-top Kammern an einem anderen Standort (GRÜNHAGE et al. 1987) - in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der generellen und raschen Abnahme des Weißklee nach Aufbau der open-top Kammern nicht nachweisbar.

LITERATUR

- ASHMORE M.R., DALPRA C., TICKLE A.K., 1988: Effects of ozone and calcium nutrition on native plant species. - In: MATHY P. (Hrsg.): Air Pollution and Ecosystems. Proc. Intern. Symp. Grenoble, France, 18-22 May 1987, Reidel, Dordrecht: 647-652.
- CORNELIUS R., FAENSEN-THIEBES A., MEYER G., 1985: Einsatz von *Nicotiana tabacum* L. Bel. W3. - Staub-Reinh. Luft 45: 59-61.
- DÄMMGEN U., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., 1987: Analysen der Smog-Episoden im Januar 1985 und im Januar und Februar 1987 in Südostniedersachsen. - Braunsch. Naturk. Schriften 2: 759-772.
- DÄMMGEN U., FRÜHAUF D., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., 1990: Ozon in der unteren Atmosphäre. - Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 43/8: 490-495.
- ELLENBERG H., 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. - Scripta Geobot. 9 (2. Aufl.), Göttingen.
- GRÜNHAGE L., HERTSTEIN U., DÄMMGEN U., FLECKENSTEIN J., JÄGER H.-J., 1987: Auswirkungen von Depositionen saurer Luftverunreinigungen auf Grünland-Ökosysteme. - Forschber. Nr. 03-7320-4 im Auftrag des Bundesmin. f. Forschung und Technologie. Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, Kernforschungszentrum, Eggenstein-Leopoldshafen.
- GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., JÄGER H.-J., 1988: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünland-Ökosystemen. II. Die Konzentrationen ausgewählter Luftinhaltsstoffe in Südostniedersachsen in den vergangenen zwei Jahrzehnten. - Landbauforschung Völkenrode 38: 196-210.
- GUDERIAN R., REIDL K., 1982: Höhere Pflanzen als Indikator für Immissionsbelastungen im terrestrischen Bereich. - Decheniana-Beihefte (Bonn) 26: 6-22.
- HAEUPLER H., MONTAG A., WÖLDECKE K., 1976: Verschollene und gefährdete Gefäßpflanzen in Niedersachsen (Rote Liste Gefäßpflanzen, 2. Fassung vom 1.5.1976). - In: Nieders. Min. f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 30 Jahre Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen: 1-25.
- HERTSTEIN U., GRÜNHAGE L., SCHLECHT-PIETSCH S., KEIL S., JÄGER H.-J., 1991: Wirkung von Managementmaßnahmen auf die Entwicklung der ober- und unterirdischen Biomasse eines Dauergrünland-Ökosystems. - Verh. der Ges. f. Ökologie XIX/III (Osnabrück 1989): 405-410.
- JÄGER H.-J., GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., HERTSTEIN U., FLECKENSTEIN J., 1988: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünland-Ökosystemen. I. Zusammenhänge, Arbeits- und Meßkonzept. - Landbauforschung Völkenrode 38: 57-89.

- MEISEL K., 1983: Zum Nachweis von Grünlandveränderungen durch Vegetationserhebungen. - *Tuexenia* 3: 407-415.
- OBERDORFER E., 1983: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. - 5. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- STEUBING L., 1981: Pflanzliche Bioindikatoren für Standortveränderungen. - Ber. über Landwirtschaft, 197. Sonderh.: 9-16.

ADRESSE

Dr. L. Grünhage
Dipl.-Biol. U. Hertstein
Institut für Produktions- und Ökotoxikologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Bundesallee 50
D-W-3300 Braunschweig

Prof. Dr. H.-J. Jäger
Institut für Pflanzenökologie
Justus-Liebig-Universität Gießen
Heinrich-Buff-Ring 38
D-W-6300 Gießen

Dr. U. Dämmgen
SFB 179 "Wasser- und Stoffdynamik
in Agrar-Ökosystemen"
Langer Kamp 19c
D-W-3300 Braunschweig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19_3_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Grünhage Ludger, Jäger Hans-Jürgen, Dämmgen Ulrich, Hertstein Udo

Artikel/Article: [Analyse der Wirkungen luftgetragener Stoffe im Ökosystem Dauergrünland 331-340](#)