

Reaktionen von drei Süßgrasarten mit unterschiedlichen Nährstoffansprüchen auf steigende NH_3 -Konzentrationen und NH_4^+ -Gaben – Ergebnisse aus zwei Vegetationsperioden

Martin de Jong, Andreas Fangmeier, Hans-Jürgen Jäger

Synopsis

Responses of three grasses with different nutrient demands to increasing NH_3 -concentrations and NH_4^+ -fertilization – results from two vegetation periods.

Three grasses, two commonly found in nutrient poor grassland, the third from nutrient rich grassland were cultivated in monocultures in a substrate closely representing field conditions of poor calcareous grasslands and exposed to three different levels of realistic NH_3 -concentrations and NH_4^+ -fertilization. Concerning different assessments such as growth-parameters, shoot weight fraction or the vertical distribution of the leaf area *Arrhenatherum elatius* was the most responsive species, followed by *Brachypodium pinnatum*. The species least responsive to $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -enrichment was *Bromus erectus*.

Ammoniak, Stickstoff-Deposition, Halbtrockenrasen, Arrhenatherum elatius, Brachypodium pinnatum, Bromus erectus, Wachstum, Sproßgewicht, Höhenverteilung

Ammonia, nitrogen deposition, chalk grassland, Arrhenatherum elatius, Brachypodium pinnatum, Bromus erectus, growth, shoot weight, vertical distribution

1 Einleitung

Halbtrockenrasen gehören in Deutschland zu den am stärksten gefährdeten Pflanzenformationen mit einem Anteil von 34% aktuell gefährdeter Arten (KORNECK & SUKOPP 1988). Gefährdungsursachen sind:

- großflächige Intensivierung der Nutzung
- eingestellte Bewirtschaftung auf potentiell weniger ertragreichen Standorten
- Eutrophierung durch stickstoffhaltige Depositionen.

Modellrechnungen gehen z. Zt. von durchschnittlichen Stickstoff-Depositionen zwischen 30 und 40 kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ in Deutschland aus (BARTNICKI & ALCAMO 1989),

von denen durchschnittlich ca. 16 kg aus $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ stammen (Anhaltswert von ASMAN & VAN JAARSVELD 1990). Die derzeitigen Depositionsmengen liegen weit über den für nährstoffarme Ökosysteme akzeptablen Grenzen. Als »critical load« für Halbtrockenrasen (*Mesobrometum*) gelten derzeit 14–25 kg N $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ (BOBBINK & al. 1992), basierend v.a. auf den Ergebnissen niederländischer Untersuchungen, die in der Regel nicht mehr genutzte Kalkhalbtrockenrasen zum Gegenstand hatten. Dagegen leiteten WILSON & al. (1995) für beweidete, P-limitierte Kalkhalbtrockenrasen Englands einen »kritischen Eintrag« zwischen 42 und 55 kg N $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ab. Der Stickstoffeintrag verstärkt häufig eine allmähliche Nährstoffanreicherung in Folge extensiverer oder gänzlich eingestellter Nutzung (STEUBING & BUCHWALD 1989, TAMM 1990). Düngerversuche in Halbtrockenrasen zeigten, daß *Brachypodium pinnatum* von erhöhten Stickstoffgaben mehr als andere Halbtrockenrasenarten profitiert (BOBBINK 1991, WILLEMS & al. 1993). Da in den dichten Beständen der Fiederzwenke kleinwüchsige Arten unterdrückt werden, führt deren Förderung zu einer deutlichen Reduktion der Artenvielfalt (BOBBINK & WILLEMS 1987, HAKES 1988). Freilandstudien in verschiedenen Regionen Westeuropas belegen unabhängig voneinander ähnliche Veränderungen der Halbtrockenrasen: typische Arten der Trespensrasen, konkurrenzschwache Arten und Magerkeitszeiger nehmen ab, *B. pinnatum* nimmt, wenn vorhanden, zu, und nährstoffliebende Arten, darunter der Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), dringen vermehrt in die Halbtrockenrasen ein (WILMANN & KRATOCHWIL 1983, BOBBINK 1987, HAKES 1988, WILMANN 1989).

Die Wirkung von gasförmigem Ammoniak auf Wildpflanzen ist bisher kaum untersucht worden. Ergebnisse von Begasungsexperimenten aus Holland mit Arten der Sandheide und Bäumen zeigen eine Wachstumsstimulation bei niedrigen Konzentrationen (Übersicht bei FANGMEIER & al. 1994). Experimentelle Studien im Hinblick auf die Reaktion von Magergräsern auf gasförmiges NH_3 stehen bisher noch aus. Hier setzt ein vom Umweltbundesamt finanziertes Forschungsprojekt an mit der Absicht, anhand eines experimentellen Ansatzes die Auswirkungen er-

höher $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Einträge auf Halbtrockenrasen zu erfassen und daraus ökologische Schutzziele zum Erhalt dieser Ökosysteme abzuleiten. In einem dreijährigen Versuch werden dabei verschiedene Ebenen von Modellpflanzengesellschaften betrachtet: vom Pflanzenbestand bis zur Physiologie der einzelnen Pflanze. Hier werden die wichtigsten Ergebnisse der ersten zwei Versuchsjahre (1995/96) auf der Ebene Pflanzenbestand in den Monokulturen vorgestellt.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchspflanzen

Als Testpflanzen dienten zwei Halbtrockenrasenarten: *Bromus erectus* HUDS (Aufrechte Trespe) und *Brachypodium pinnatum* (L.) P.B. (Fieder-Zwenke) sowie als dritte Art *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. PRESL (Glatthafer), die als Art des Wirtschaftsgrünlands (*Molinio-Arrhenatheretalia*) in besonderem Maße von einer Verbesserung der Nährstoffversorgung profitieren kann (ELLENBERG 1996: 702, 785). Die drei Arten wurden einzeln und in allen Kombinationen als Modellpflanzengesellschaften angezogen. Die Ergebnisse der Mischkulturen werden an anderer Stelle veröffentlicht. Die Nomenklatur richtet sich nach SCHUBERT & VENT (1990).

2.2 Behandlungen

Die Testpflanzen wurden in Dauerkultur über drei Jahre (1995–1997) jeweils drei verschiedenen umweltrelevanten Niveaus bezüglich NH_3 -Konzentration (0, 20, 50 $\mu\text{g m}^{-3}$) und NH_4^+ -Versorgung (0, 20, 50 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) in allen Kombinationen aus beiden Faktoren ausgesetzt. Die NH_3 -Begasung erfolgte kontinuierlich, die Topfdüngung mit Ammonium in monatlichen Gaben von gelöstem NH_4SO_4 . Die Jahresmenge wurde in zehn gleichgroße Düngeeinheiten unterteilt, von denen im Mai drei, im April und Juni zwei und von Juli bis September jeweils eine gegeben wurden. Von jeder Behandlung wurden vier Parallelen exponiert, verteilt auf zwei Kammern. Zur experimentellen Veränderung der NH_3 - und NH_4^+ -Versorgung diente die Pflanzenexpositionsanlage aus Open-top-Kammern des Instituts für Pflanzenökologie der Justus Liebig-Universität Gießen. Eine ausführliche Beschreibung liefern FANGMEIER & al. (1992). Die Begasungszeiträume lagen jeweils in der Vegetationsperiode (1995: 140 Tage [14. Juni bis 1. November] – davon 46–58 Tage bis zur Ernte im August, 1996: 89–115 Tage [10. April bis zur Ernte im Juli]). Die Kulturen blieben auch den Winter über in den Kammern (Lagerung in Rindenmulch, Dach und obere Seitenfolien abgedeckt).

2.3 Samenmaterial, Substrat

Das verwendete Samenmaterial wurde im Freiland gesammelt (*Brachypodium pinnatum*: Halbtrockenrasen im Vorderen Vogelsberg) bzw. aus Samenzüchtern der Firma C. Appell/Darmstadt bezogen (*Arrhenatherum elatius*: Anbaufläche in Nordrhein-Westfalen, Sorte: Arel – relativ ertragsschwach (mdl.Mitteilung Fa. Appell), *Bromus erectus*: Anbaufläche in Baden-Württemberg). Die Pflanzen wurden im Gewächshaus auf Pikiererde angezogen und nach drei Wochen je 12 Pflanzen in 18 l-Töpfe aus weißem Polyethylen pikiert (31 cm Höhe, 28 cm Durchmesser, Boden mit fünf 0,8 cm großen Löchern, Töpfe auf Untertöpfen gleichen Durchmessers). Als Substrat diente ein Bodengemisch aus kalkhaltigem Oberboden (Kalksteinbruch der Fa. Buderus-Zement in Wetzlar-Hermannstein, oberdevonischer Massenkalk), der gesiebt (Maschenweite 2,5 cm) und zu gleichen Volumenteilen mit Sand (gewaschener Mainsand 0/2) vermischt wurde. Das Substrat sollte in Bezug auf Boden-pH (a. dest.: 8,2), Nährstoffversorgung und Wasserkapazität den Verhältnissen an einem Halbtrockenrasenstandort im Freiland ähneln. Die Bewässerung erfolgte bei Abtrocknen der Bodenoberfläche mit Hilfe einer Tröpfchenbewässerungsanlage, die mit Wasser aus einer Demineralisationsanlage (Umkehrosiose) gespeist wurde, um eine Kontamination mit Nitrat-N aus dem Leitungswasser zu vermeiden. Alle Behandlungsvarianten erhielten die gleiche Wassermenge.

2.4 Wirkungserhebungen

Zur Erfassung des Wachstumsverhaltens wurde drei bzw. vier mal pro Vegetationsperiode an 16 Pflanzen pro Behandlung die phänologische Entwicklung mittels eines Schlüssels beurteilt (MOORE & al. 1991) sowie die Wuchshöhe und (bis zum Schnitt) die Anzahl der Sprosse notiert. Um die Versuchsbedingungen denen eines einschürig genutzten Halbtrockenrasens anzunähern, wurden die Modellgesellschaften einmal jährlich während der Vegetationsperiode 7 cm über dem Boden abgeschnitten (1995: erste Augushälfte, 1996: Juli). Die Ernte erfolgte in Höhenstufen von 10 cm, um mögliche Behandlungseffekte auf die Bestandesstruktur zu erfassen, wobei grüne und seneszenz Blätter sowie Stengel getrennt wurden. Die Fraktionen wurden 48 Stunden bei 80 °C getrocknet.

2.5 Statistik

Um den Einfluß der NH_3 -Exposition und der NH_4^+ -Versorgung auf die untersuchten Wachstumsparame-

ter zu testen, wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt, an die im Falle eines positiven Ergebnisses ein LSD-Test angeschlossen wurde (SPSS 6.0). Die Originaldaten wurden auf Normalverteilung (K-S [Lilliefors]-Test) und Varianzhomogenität (Cochran-Test und Bartlett-Box) geprüft (Signifikanzniveau jeweils 0,05). War eines der beiden Kriterien nicht erfüllt, ist dies gesondert vermerkt (n: keine Normalverteilung; v: keine Varianzhomogenität).

3 Ergebnisse

3.1 Phänologie

Die Entwicklung von *A. elatius* wurde in beiden Versuchsjahren durch NH_4^+ -Gaben beschleunigt (95: tendenziell, 96: $P < 0,01^n$), im zweiten Jahr auch durch NH_3 ($P < 0,05^n$). NH_4^+ -Gaben führten bei dieser Art zu einer früheren Bildung von Rispen. Auch das Regenerationswachstum nach der Ernte 1996 war durch NH_4^+ tendenziell positiv beeinflusst. *B. pinnatum* wurde in beiden Versuchsjahren durch höhere NH_3 -Konzentrationen hochsignifikant gefördert (95 & 96: $P < 0,001^n$), während eine signifikante Wirkung der NH_4^+ -Gaben auf das erste Jahr beschränkt blieb ($P < 0,001^n$). Als einzige der drei untersuchten Arten konnte diese Art zu Beginn der Vegetationsperiode und – besonders stark – in der Regenerationsphase hochsignifikant von erhöhten NH_3 -Konzentrationen profitieren ($P < 0,001^n$). Bei *B. erectus* zeigten sich dagegen im bisherigen Verlauf des Experiments keine Effekte auf die Geschwindigkeit der Entwicklung.

3.2 Wuchshöhe

Im ersten Versuchsjahr konnte nur *A. elatius* signifikant von höheren NH_4^+ -Gaben profitieren ($P < 0,05$). Im zweiten Versuchsjahr traten bei allen drei Arten positive Effekte sowohl durch NH_3 als auch durch NH_4^+ auf. Am stärksten davon profitieren konnte *A. elatius*, dessen Triebe bei maximaler $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Versorgung bis zu 70% höher waren als die unbehandelten Kontrollen (NH_3 : $P < 0,001$, NH_4^+ : $P < 0,001$). Zuwächse traten auch beim Regenerationswachstum auf (NH_3 & NH_4^+ : $P < 0,01$). Bei *B. pinnatum* führten erhöhte NH_3 -Konzentrationen zu hochsignifikanten Steigerungen bis zu 30% ($P < 0,001$), auch bei dieser Art setzte sich dies nach dem Schnitt fort ($P < 0,001^v$). Es zeigten sich jedoch kaum Effekte der NH_4^+ -Versorgung. Auch *B. erectus* profitierte im zweiten Versuchsjahr bis zum Schnitt von erhöhten NH_3 -Konzentrationen ($P < 0,01^n$), diese Effekte blieben jedoch deutlich uneinheitlicher als bei den beiden anderen Arten. Konstanter waren dagegen die

Effekte von NH_3 und NH_4^+ auf das Regenerationswachstum (NH_3 : $P < 0,001$, NH_4^+ : $P < 0,001^n$).

3.3 Anzahl der Triebe/Pflanze

Im ersten Versuchsjahr hatten sich nur bei *B. pinnatum* tendenziell positive NH_4^+ -Effekte gezeigt, im zweiten Jahr traten tendenzielle Behandlungseffekte bei allen drei Arten auf. *A. elatius* und *B. pinnatum* konnten sowohl von erhöhten NH_3 -Konzentrationen als auch von einer verbesserten NH_4^+ -Versorgung profitieren. Die mit etwa 70% größten Steigerungsraten unter NH_3 -Exposition traten dabei zu Beginn der Vegetationsperiode auf. *B. erectus* reagierte auch hier uneinheitlicher. Trotz dieser deutlichen Effekte bei allen drei Arten scheint die Behandlung jedoch keinen Einfluß auf den Verlauf der artspezifischen Entwicklung der Bestockung gehabt zu haben – dynamisch bei *A. elatius* mit vielen (Blatt-)Trieben zu Beginn der Vegetationsperiode, von denen aber nur ca. 1/3 weiterwachsen, oder vergleichsweise konstant wie bei *B. pinnatum* und *B. erectus*.

3.4 Sproßtrockenmasse

1995 waren signifikante Steigerungen des Sproßtrockengewichtes ausschließlich auf eine veränderte NH_4^+ -Versorgung zurückzuführen, 1996 auch auf erhöhte NH_3 -Konzentrationen. *A. elatius* reagierte in beiden Jahren am einheitlichsten (Abb. 1). Die stärksten NH_4^+ -Effekte traten mit Steigerungen bis zu 80% gegenüber den Kontrollen im ersten Jahr auf, bis zu 60% waren es im zweiten Jahr, in beiden Jahren hochsignifikant (95: $P < 0,01$, 96: $P < 0,001$). Erhöhte NH_3 -Konzentrationen führten im zweiten Jahr schon bei $20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ NH_3 in der Umgebungsluft zu einer Zunahme der Sproßtrockenmasse bis zu 90%, eine weitere Erhöhung zeitigte jedoch nur noch geringe Steigerungsraten. Eine Sättigungskurve hatte sich bereits im ersten Jahr gezeigt, bei lediglich tendenziellen Reaktionen auf die NH_3 -Exposition (96: $P < 0,001$). Das Sproßtrockengewicht bei maximaler NH_3 -Versorgung lag um das 2,3 fache über dem der Kontrolle ohne NH_3 -Exposition.

Auch bei *B. pinnatum* zeigten sich in beiden Jahren deutliche Behandlungseffekte, das Reaktionsmuster war jedoch dynamischer. So traten bei maximaler NH_4^+ -Versorgung im ersten Jahr zwar Wachstumsraten bis 75% auf, Effekte der NH_3 -Konzentrationen zeigten sich aber nur bei mittlerer NH_4^+ -Versorgung. Im zweiten Jahr wurden die stärksten NH_3 -Effekte in den Kulturen ohne NH_4^+ -Gaben beobachtet. Dort nahm das Sproßtrockengewicht unter NH_3 -Exposition zunächst um 80% ($20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), dann erneut um 60% ($50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) zu. Das Sproßtrockengewicht bei

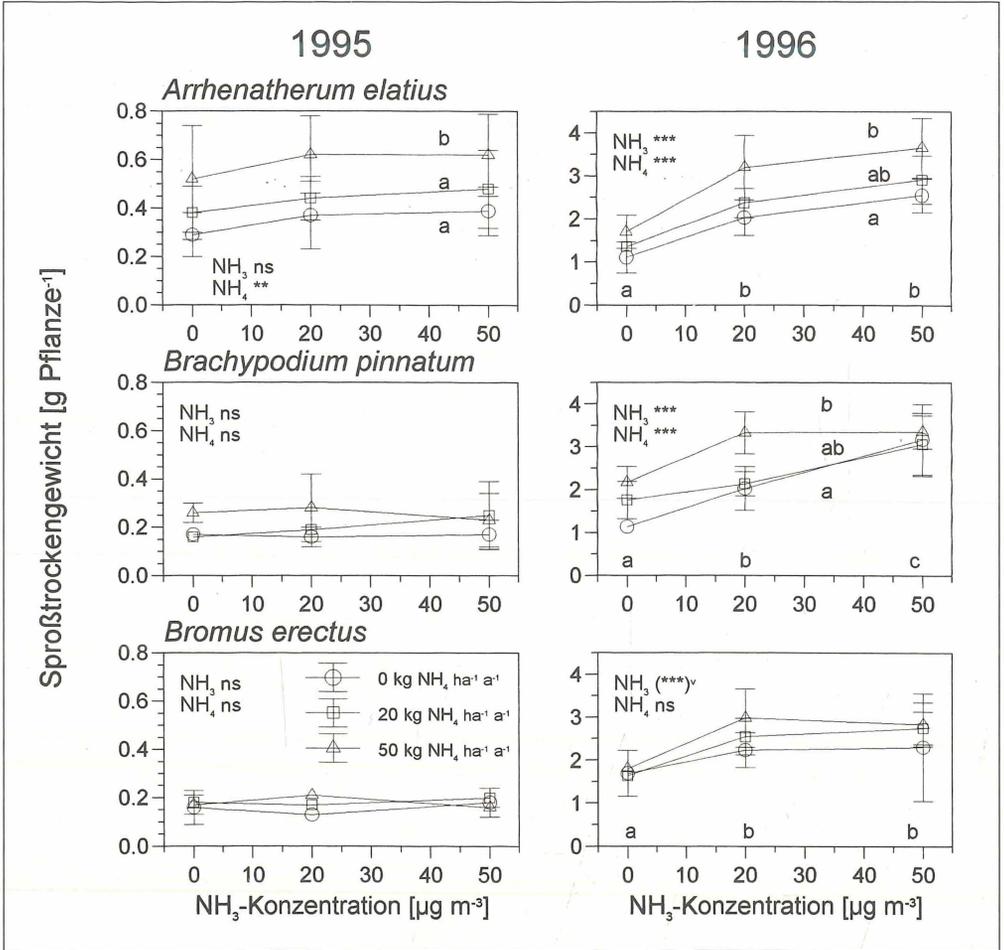


Abb. 1
Sproßtrockenmasse pro Pflanze unter erhöhtem NH₃ und veränderter NH₄⁺-Versorgung in den Monokulturen 1995 und 1996 (***: P < 0,001; **: P < 0,01; *: P < 0,05; ns: nicht signifikant; v: keine Varianzhomogenität).

Fig. 1
Shoot weight per plant under increased NH₃-concentrations and altered NH₄⁺-fertilization in monocultures in 1995 and 1996 (***: P < 0.001; **: P < 0.01; *: P < 0.05; ns: not significant; v: no Homogeneity of variance).

maximaler NH₃-Begasung lag 2,8 mal über dem der Kontrolle ohne NH₃-Exposition. Bei maximaler NH₄⁺-Versorgung trat nach einer anfänglichen Steigerung um 50% auch bei dieser Art ein Sättigungseffekt auf. Bei höchsten NH₃-Konzentrationen in der Umgebungsluft waren die Unterschiede zwischen den NH₄⁺-Varianten marginal (NH₃ und NH₄⁺ 96: P < 0,001).

Während *B. erectus* im ersten Jahr in Monokultur als einzige der untersuchten Arten ohne einheitliche Tendenz auf die Behandlungen reagiert hatte, zeigten sich in der zweiten Vegetationsperiode auch bei dieser Art deutliche Effekte der NH₃-Exposition mit Steigerungen zwischen 35 und 65% (P < 0,001^v), jedoch verbunden mit deutlichen Sättigungseffekten.

Das Sproßtrockengewicht bei maximaler NH₃-Begasung lag daher nur 1,4 mal über dem der Kontrolle ohne NH₃-Exposition. Die NH₄⁺-Versorgung führte nur zu relativ schwachen tendenziellen Steigerungen. Bei *B. erectus* liessen sich in beiden Versuchsjahren keine Zuwächse durch ausschließliche NH₄⁺-Gaben feststellen. *B. erectus* konnte damit auch im zweiten Jahr weniger als die beiden anderen Arten von den Behandlungen profitieren. Unter Stickstoff-Mangel war *B. erectus* jedoch die produktivste der untersuchten Arten: in den Kontrollen ohne jede Düngung erreichte sie ein deutlich höheres Sproßtrockengewicht (ca. 1,7 g/Pflanze) als die beiden anderen Arten (jeweils ca. 1,1 g).

3.5 Höhenverteilung der Blattfläche

Bei allen drei Arten führten die Behandlungen zu einer Vergrößerung der Blattfläche, 1995 signifikant durch NH_4^+ (*A. elatius*: $P < 0,01$, *B. erectus*: $P < 0,05$, *B. pinnatum*: $P < 0,05^n$), 1996 signifikant durch NH_3 (*A. elatius* und *B. erectus*: $P < 0,001$, *B. pinnatum*: $P < 0,05$). Für eine optimale Nutzung des Sonnenlichts ist jedoch nicht allein eine große Blattfläche ausschlaggebend, sondern auch deren möglichst günstige Position im Bestand. Die hochwüchsige Art *A. elatius* ist hier deutlich im Vorteil gegenüber den beiden niedrigwüchsigeren Arten, von denen wiederum *B. pinnatum* eine bessere Verteilung erreicht. Bei beiden Arten verstärkte sich dieser Konkurrenzvorteil bereits im ersten Jahr durch NH_4^+ -Gaben, während *B. erectus* keine einheitlichen Tendenzen zeigte. 1996 steigerten alle drei Arten ihre Blattfläche bei verbesserter $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Versorgung in fast allen Höhenstufen (Abb. 2). *A. elatius* und *B. pinnatum* konnten jedoch die vertikale Verteilung erneut stärker optimieren als *B. erectus*. Bei *A. elatius* lag dies v.a. daran, daß die prozentual stärksten Zuwächse in den oberen Höhenstufen auftraten. *B. pinnatum* blieb zwar aufgrund genetischer Fixierung die niedrigwüchsige der untersuchten Arten, konnte aber innerhalb des von ihm erreichbaren Höhenbereiches die vertikale Verteilung der Blattfläche ebenfalls verbessern. Nur bei dieser Art trat eine Höhenverlagerung der Blattfläche auf – eine Verkleinerung der Blattfläche in der untersten Höhenstufe war häufig verbunden mit deutlichen Zuwächsen in den darüber gelegenen Stufen. *B. erectus* legte unter NH_3 -Begasung ab 30 cm über Schnitthöhe neue, wenn auch kleinflächige Blattebenen an, die stärksten Zuwächse traten jedoch unter 30 cm auf, wodurch die Konzentration der Biomasse in diesem Bereich erhalten blieb. Die Behandlungen führten hier nur zu geringen Veränderungen. Die Stengel wurden bei dieser Art nur marginal als Träger von Blattspreiten genutzt, sie dienten v.a. der Reproduktion.

4 Diskussion

Im bisherigen Verlauf des Experimentes zeigten sich deutliche artspezifische Unterschiede in den Reaktionen auf die verschiedenen Behandlungsvarianten. Im ersten Versuchsjahr war die Mehrzahl der Reaktionen auf eine veränderte NH_4^+ -Versorgung zurückzuführen, im zweiten Jahr zeigten sich zusätzlich deutliche Einflüsse der NH_3 -Begasung auf die untersuchten Parameter (s. Tab. 1).

A. elatius wuchs unter erhöhter $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Versorgung schneller, die Pflanzen wurden höher und bildeten eine größere Sproßtrockenmasse, deren gleichmäßige vertikale Verteilung an der Sproßachse

verbessert wurde. Damit konnte *A. elatius* bei guter Stickstoff-Versorgung jene Eigenschaften gut entwickeln, durch die er selbst anderen Arten des Wirtschaftsgrünlands durch Lichtkonkurrenz überlegen ist (KNAUER & RÜGER 1980).

Auch bei *B. pinnatum* hatten sowohl NH_3 -Begasung als auch NH_4^+ -Gaben eine fördernde Wirkung auf die Mehrzahl der untersuchten Wachstumsparameter. Im zweiten Jahr konnte diese Art bei den Parametern Blattfläche und Blattrockengewicht sogar stärker von NH_4^+ -Gaben profitieren als *A. elatius*. Auch unter Nährstoffmangel produzierte *B. pinnatum* erhebliche Mengen an Biomasse, v.a. Blätter, die sich im Bereich bis 30 cm über dem Boden konzentrierten. Eine Wuchsförderung mußte unter diesen Voraussetzungen jedoch zu vermehrter Selbstbeschattung führen. *B. pinnatum* ist die einzige der drei Arten, bei der – als Reaktion auf erhöhte $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Versorgung – eine Höhenverlagerung der Blattfläche beobachtet wurde. Die positiven Reaktionen von *Brachypodium pinnatum* decken sich mit den Ergebnissen von BOBBINK (1991), der zeigte, daß diese Art von erhöhten Stickstoffgaben mehr als andere Halbtrockenrasenarten profitiert.

B. erectus reagierte in deutlich geringerem Maße auf eine erhöhte $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Versorgung. Zwar nahmen auch hier Wuchshöhe und Anzahl der Triebe zu, die Reaktionen waren aber weniger einheitlich. Erst im zweiten Jahr hatten die Behandlungen einen positiven Effekt auf das Sproßtrockengewicht. Die vertikale Verteilung der Sproßtrockenmasse und der Blattfläche blieb weitgehend unverändert. Auch SHARIFI (1983) beobachtete bei experimentellen Untersuchungen zwar eine Wachstumsförderung bei *B. erectus* durch steigende Stickstoffgaben bis zu einem hoch über der natürlichen Versorgung liegenden Optimum, das Maß dieser Förderung war aber auch dort geringer als bei *A. elatius* und anderen »anspruchsvollen« Obergräsern (ELLENBERG 1996: 702). Daß *B. erectus* unter Stickstoff-Mangel im aktuellen Experiment jedoch die produktivste der untersuchten Arten war, veranschaulicht die »Genügsamkeit« der Treppe, die sie auf mageren Böden zum überlegenen Wettbewerber in Konkurrenz mit Arten der Glatthawiesen macht (ELLENBERG 1996: 703).

Eine Wachstumsförderung durch niedrige NH_3 -Konzentrationen [unter 1 mg m^{-3}] wurde bei Versuchen mit verschiedenen Süßgräsern beobachtet, darunter Magerkeitszeiger (OBERDORFER 1990) wie *Agrostis capillaris* und *Deschampsia flexuosa* (FANGMEIER & al. 1994). *A. capillaris* vergrößerte sein Sproßtrockengewicht bei Erhöhung der NH_3 -Konzentration von 5 auf $60 \mu\text{g m}^{-3}$ um das 2,2 fache. *D. flexuosa* reagierte auf NH_3 -Begasung mit $100 \mu\text{g m}^{-3}$ ebenfalls mit deutlichen Steigerungsraten der Sproßtrockenmasse ($\times 2,25$) (VAN DER EERDEN & al. 1991). Im zweiten Jahr des hier vorgestellten Ex-

Tab. 1

Übersicht Ergebnisse Phänologie und Ertragsparameter 1996
 + : Zunahme, Wachstum; - : Abnahme; = : keine deutlichen
 Veränderungen; +/- : uneinheitliche Reaktionen; tendenzielle
 Reaktionen in Klammern; n: keine Normalverteilung; v: keine
 Varianzhomogenität.

untersuchte Parameter:	<i>Arrhenatherum</i>		<i>Brachypodium</i>		<i>Bromus</i>	
	NH ₃	NH ₄ ⁺	NH ₃	NH ₄ ⁺	NH ₃	NH ₄ ⁺
<i>Wachstum bis zum Schnitt</i>						
Entwicklungsgeschwindigkeit	+ ⁿ	(+)	+ ⁿ	=	=	=
Wuchshöhe	+	+	+	+	+	(+)
Anzahl der Triebe	(+)	(+)	(+)	(+)	+ ^v	+/-
<i>Regenerationswachstum</i>						
Entwicklungsgeschwindigkeit	=	(+)	+ ⁿ	=	=	=
Wuchshöhe	+	+	+ ^v	=	+	+ ⁿ
Sproßtrockengewicht	+	+	+	+	+ ^v	(+)
Blattfläche	+	+/-	+	(+)	+	(+)
vertikale Verteilung der Blattfläche am Sproß optimiert	+	+/-	+	+	=	=

Tab. 1

Overview Results phenology and yield-parameters 1996
 + : increase; - : decrease; = : without remarkable changes;
 +/- : reactions not uniform; insignificant reactions in
 parentheses; n: no Normal distribution; v: no Homogeneity of
 variance.

perimentes traten bei *A. elatius* ähnliche Steigerungsraten auf (x 2,3), während *B. pinnatum* deutlich darüber lag (x 2,8), *B. erectus* dagegen nur das 1,4 fache erreichte (die Angaben beziehen sich auf das Sproßtrockengewicht oberhalb 7 cm über dem Boden bei Erhöhung der NH₃-Konzentration von 0 auf 50 µg m⁻³). Im Unterschied zum Reaktionsverlauf bei den aktuell untersuchten Arten beobachteten VAN DER EERDEN & al. (1990) bei *A. capillaris* selbst unter fast fünfmal höheren NH₃-Konzentrationen [240 µg m⁻³] keinen Sättigungseffekt. Eine starke Zunahme der Halmanzahl (x 2,3) stellte VAN DER EERDEN & al. (1990) bei *Agrostis capillaris* nach Erhöhung der NH₃-Konzentration von 5 auf 60 µg m⁻³ fest.

Die deutlichen Unterschiede in den Reaktionen der drei Grasarten auf die verschiedenen Behandlungsvarianten lassen den Schluß zu, daß Stickstoffeinträge an der Artenverarmung in Halbtrockenrasen beteiligt sind. Die experimentelle Bestätigung von im Freiland beobachteten Prozessen (Förderung von stickstoffbedürftigeren Arten wie *A. elatius*, starke Blattflächenzuwächse bei *B. pinnatum* in Richtung einer »Folz«-bildung) deutet darauf hin, daß ein kausaler Zusammenhang mit Stickstoffeinträgen besteht.

5 Danksagung

Die Studie wurde aus Mitteln des Umweltbundesamtes gefördert (FE-Nr. 108 03 050/01).

Literatur

ASMAN, W.A.H. & VAN JAARSVELD H.A. (1990): Regionale und europaweite Emission und Verfrachtung von NH₃-Verbindungen. In *Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Gemeinsames Symposium, 10. bis 12. Oktober 1990, FAL, Braunschweig-Völkenrode*. Ed KTBL/VDI. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. pp. 2.1–2.35

BARTNICKI, J. & ALCAMO, J. (1989): Calculating nitrogen deposition in Europe. *Water Air Soil Pollut.* 47: 101–123.

BOBBINK, R. (1987): Increasing Dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. in Chalk Grasslands: A Threat to a Species-rich Ecosystem. *Biological Conservation* 40: 301–314.

BOBBINK, R. (1991): Effects of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. *J.Appl.Ecol.* 28: 28–41.

BOBBINK, R., BOXMAN, D., FREMSTAD, E., HEIL, G., HOUDIJK, A., ROELOFS, J. (1992): Critical loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. *Critical loads for nitrogen. Report from a workshop held at Lökeberg, Sweden, 6–10 April (1992)* (eds P. Greenfelt & E. Thornelof), pp. 111–160. Nordic Council of Ministers Report Nord, 1992,41.

BOBBINK, R. & WILLEMS, J.H. (1987): Increasing dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. in chalk grasslands: a threat to a species-rich ecosystem. *Biol.Conserv.* 40: 301–314.

- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl. Stuttgart (Ulmer): 1095 S. (702 f., 785).
- FANGMEIER, A., HADWIGER-FANGMEIER, A., VAN DER EERDEN, L.J.M. & JÄGER, H.-J. (1994): Effects of atmospheric ammonia on vegetation – a review. *Environmental Pollution* 86: 43–82.
- FANGMEIER, A., STEIN, W. & JÄGER, H.-J. (1992): Advantages of an open-top chamber plant exposure system to assess the impact of atmospheric trace gases on vegetation. *Angew. Bot.* 66: 97–105.
- HAKES, W. (1988): Vergleich der Pflanzenbestandsstruktur genutzter und brachliegender Kalk-Halbtrockenrasen in Nordhessen. *Phytocoenologia* 16: 289–314.
- KNAUER, N. & RÜGER, K. (1980): Über die Wurzelkonkurrenz verschiedener Pflanzenarten in Glatt- haferwiesen und Kohldistelwiesen. *Ber. Int. Sympos. d. I.V.f.Veg.kde.: Ephemorie, Gantner, Hirschberg, Strauss & Cramer, Vaduz*: 171–190.
- KORNECK, D., SUKOPP, H. (1988): Rote Liste der in der Bundesrepublik Deutschland ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen und ihre Auswertungen für den Arten- und Biotopschutz. *Schr. Reihe f. Vegetationskde.* 19, 210 S.
- MOORE, K.J., MOSER, L.E., VOGEL, K.P., WALLER, S.S., JOHNSON, B.E. & PEDERSEN, J.F. (1991): Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agron.J.* 83: 1073–1077.
- OBERDORFER, E. (1990): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 6. Aufl., Ulmer: Stuttgart. 1050 S.
- SCHUBERT, W & W. VENT (Hrsg.) (1990): Exkursionsflora von Deutschland, Band 4. – Volk und Wissen, Berlin: 811 S.
- SHARIFI, M.R. (1983): The effects of water and nitrogen supply on the competition between three perennial meadow grasses. *Acta Oecol., Oecol. Plant.* 4 (18): 71–82.
- STEUBING, L. & BUCHWALD, K. (1989): Analyse der Artenverschiebungen in der Sand-Ginsterheide des Naturschutzgebietes Lüneburger Heide. *Natur und Landschaft* 64: 100–105.
- TAMM, C.O. (1990): Nitrogen in terrestrial ecosystems: Questions of productivity, vegetational changes and ecosystem stability. *Ecological Studies* Vol. 81
- VAN DER EERDEN, L.J.M., DUECK, T.A., ELDERSON, J., VAN DOBBEN, H.F., BERDOWSKI, J.J.M., LATUHIHIN, M. & PRINS, A.H. (1990): Effects of NH₃ and (NH₄)₂SO₄ deposition on terrestrial semi-natural vegetation on nutrient-poor soils. Project 124/125, phase II, Dutch Priority Programme on Acidification, IPO report R 90/06, RIN report 90/20.
- VAN DER EERDEN, L.J.M., DUECK, T.A., BERDOWSKI, J.M., GREVEN, H. & VAN DOBBEN, H.F. (1991): Influence of NH₃ and (NH₄)₂SO₄ on heathland vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 4: 281–296.
- WILMANNNS, O. (1989): Zur Entwicklung der Trespenrasen im letzten halben Jahrhundert: Einblick–Ausblick–Rückblick, das Beispiel des Kaiserstuhls. *Düsseldorfer Geobot. Kolloq.* 6: 1–17.
- WILMANNNS, O. & KRATOCHWIL, A. (1983): Naturschutz-bezogene Grundlagen-Untersuchungen im Kaiserstuhl. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 34: 39–56.
- WILSON, E.J., WELLS, T.C.E. & SPARKS, T.H. (1995): Are calcareous grasslands in the UK under the threat from nitrogen deposition? – an experimental determination of a critical load. *Journal of Ecology* 83: 823–832.

Adresse

Dipl.-Biol. Martin de Jong
 PD Dr. Andreas Fangmeier
 Prof. Dr. Hans-Jürgen Jäger
 Institut für Pflanzenökologie
 der Justus-Liebig-Universität Gießen
 Heinrich-Buff-Ring 38
 D-35392 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Jong Martin de, Fangmeier Andreas, Jäger Hans-Jürgen

Artikel/Article: [Reaktionen von drei Süßgrasarten mit unterschiedlichen Nährstoffansprüchen auf steigende NH₃- Konzentrationen und NH₄⁺-Gaben - Ergebnisse aus zwei Vegetationsperioden 373-380](#)