

Der Einfluss von Rinderbeweidung auf die Jahresphänologie von Silbergrasfluren (*Spergulo-Corynephorum*) – eine digitale Strukturanalyse

Anselm Kratochwil, Sandra Müller und Dominique Remy, Osnabrück

Abstract. The influence of cattle grazing on the annual phenology of *Corynephorus* grassland (*Spergulo-Corynephorum*) – a digital image analysis.

Within a vegetation complex of a traditional pasture landscape situated in the Emsland region (northwestern Germany) the effects of extensive cattle grazing on the vegetation structure of *Spergulo-Corynephorum typicum* and *S.-C. cladonietosum* in comparison to non-grazed sites were studied on 12 specific dates during the vegetation period. Besides relevés of plant species composition and vegetation cover, the study focuses on VESTA, a specific method of analysing vertical vegetation structure, and the software SIDELOOK to extract the spatiotemporal characteristics of vertical vegetation structure. Analyses were applied concerning various spatial parameters such as altitudinal profile of vegetation (profile of the highest points within the column intervals of the image), column denseness (black pixel area of a column interval in relation to the total column width), row denseness (black pixel area of a row height interval in relation to the total row area), row-hole count (number of holes for given height intervals) and average row-hole sizes for a given height interval. Moreover, seasonal changes of structural parameters were analysed with the help of graphs. The results of the structural analyses show remarkable differences, concerning specific structural parameters, between the grazed and non-grazed sites of *S.-C. typicum* and *S.-C. cladonietosum* and between the two subassociations themselves. Whereas in the *S.-C. typicum*, effects of cattle trampling turned out to be the major factor influencing specific vegetation structure, in the *S.-C. cladonietosum*, those parameters are mainly influenced by selective grazing, compensatory growth of palatable grasses and avoidance of unpalatable plant species. Detailed analyses demonstrate differences between the specific structural parameters. The results of the ordination of plant species composition and cover are compared with the analyses of vertical vegetation structure based on digital image processing.

1 Einführung

Pionierfluren würden ohne den steten Einfluss eines abiotischen oder biotischen Störungsregimes relativ schnell im Rahmen einer progressiven Sukzession durch fortgeschrittenere Sukzessionsstadien ersetzt. Zahlreiche Pioniergesellschaften besitzen aus Naturschutzsicht einen hohen Wert, denn aufgrund ihrer starken Gefährdung, insbesondere durch intensive landwirtschaftliche Maßnahmen, und ihres inzwischen erheblichen Rückgangs sind einzelne Lebensraumtypen, darunter auch Silbergrasfluren, in die Liste der Fauna-Flora-Habitat-Lebensräume aufgenommen worden. In den Silbergrasfluren des norddeutschen Tieflandes (*Spergulo-Corynephorum* Libbert 1933) bilden die pleistozänen Sande der Eiszeit das Ausgangssubstrat. Durch den dynamisierenden Faktor Wind werden kleinräumig immer wieder neue, offene Sandstellen gebildet, wo sich

diese konkurrenzschwachen Pflanzengesellschaften etablieren und erhalten können. In den flussnahen Bereichen entstehen auch unter natürlichen Bedingungen durch großflächige Überflutungen und Sedimentationsprozesse immer wieder neue Sandfelder für eine Besiedlung (SCHWABE & KRATOCHWIL 2008). Eine dynamisierende und die Sukzession retardierende Wirkung kann auch durch Beweidung geschehen (FINCK et al. 1997, PREISING et al. 1997). So sind viele Silbergrasfluren im Norddeutschen Tiefland Bestandteile eines Hudelandschaftsmosaiks und vielerorts seit dem Mittelalter einer extensiven Beweidung ausgesetzt. Silbergrasfluren bieten Weidetieren zwar wenig Phytomasse, dennoch suchen zum Beispiel Rinder oft solche Sandbereiche aufgrund ihres trockeneren Substrates, der höheren Insolation, des stärkeren Windes und – damit verbunden – des geringeren Insektenbefalls auf und nutzen sie zum Ruhen und Wiederkäuen (STROH & KRATOCHWIL 2004).

Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen, die den Einfluss einer Rinderbeweidung auf Silbergrasfluren genauer analysieren. Eine Möglichkeit bieten mehrjährige Untersuchungen, bei denen Vegetationsvergleiche beweideter und unbeweideter Bestände über pflanzensoziologische Aufnahmen oder eine Frequenzanalyse geführt werden (STROH & KRATOCHWIL 2004, STROH et al. 2005, STROH 2006). Gegenüber einer solchen eher „grobkörnigen“ Vorgehensweise bietet sich auch eine „feinkörnigere“ Methode an, bei der der Einfluss von Beweidung bzw. Nichtbeweidung auf die Vegetationsstruktur unmittelbar innerhalb einer Vegetationsperiode aufgeschlüsselt wird. Dies geschieht über die phänologische Entwicklung der horizontalen und vertikalen Strukturen des Pflanzenbestandes. Neben der Analyse des Artenbestandes bietet sich besonders auch eine digitale Bildanalyse an (ZEHM 2003, ZEHM et al. 2003, ZEHM 2006), bei der verschiedene Verfahren der Pixelauswertung auch sehr geringe Strukturveränderungen auflösen können.

Untersuchungen zur Vegetationsstruktur wurden in der Vergangenheit hilfreich eingesetzt, z. B. zur Beschreibung der kleinräumigen Heterogenität von Vegetationsbeständen (LOTZ & OLFF 1987), zum Nachweis ihrer Wirkung auf das reproduktive Potenzial einer Pflanzengesellschaft (SUNDERMEIER 1999), zur Analyse ihres Einflusses auf abiotische Faktoren wie zum Beispiel Wind (SMITH et al. 1995), zur Erfassung des Bodenklimas (CERNUSCA 1977, PARTON 1984, BARKMAN & STOUTJESDIJK 1987, OLIVER et al. 1987, SCHWABE et al. 2004) oder zur Analyse von Tierartenvorkommen in bestimmten Strukturen (KRATOCHWIL & SCHWABE 2001 und ZEHM et al. 2003).

Wir möchten diese Arbeit unserem Kollegen Fred Daniëls anlässlich seines 65. Geburtstages widmen, der sich über Jahrzehnte unter anderem auch mit der Erforschung von Silbergrasfluren beschäftigt hat (u. a. BIERMANN & DANIËLS 1997, 2001, DANIËLS 2000, MINARSKI & DANIËLS 2006, HASSE & DANIËLS 2006a, b).

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Welchen Einfluss hat eine extensive Rinderbeweidung auf das *Spergulo-Corynephorum typicum* und das *S.-C. cladonietosum* im Laufe einer Vegetationsperiode?
- Welche Unterschiede sind in der Entwicklung des Artenbestandes (Artmächtigkeiten) an 12 aufeinanderfolgenden Zeitpunkten einer Vegetationsperiode feststellbar und welchen Einfluss hat die Beweidung?

- Welche Unterschiede gibt es zwischen beweideten und unbeweideten Flächen in Bezug auf die Strukturparameter Vegetationshöhe, Vegetationsobergrenze, Vegetationsdichte (Spalten, Zeilen), Lückenzahl und mittlere Lückengröße verschiedener Vegetationsschichten, und können diese mit der Beweidung korreliert werden?

2 Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet und untersuchte Pflanzengesellschaften

Die Untersuchungen fanden im unmittelbar östlich der Ems gelegenen Naturschutzgebiet „Sandtrockenrasen am Biener Busch“ nördlich von Lingen statt (7°15 E, 52°34 N; MTB 3409/1+2; Naturraum 586.01 Meppener Emstal). Es handelt sich um einen Offenlandbereich eines 24 ha großen Hudelandschaftskomplexes, bestehend unter anderem aus Flutrasen, Sandtrockenrasen, Heidenelkenfluren, Weidelgrasweiden und eingesprengten Grauweidenbeständen. Untersucht wurden ein *S.-C. typicum* in ebener Lage und ein *S.-C. cladonietosum* auf einer Dünenkuppe. Diese Gesellschaften stehen im Gebiet nachweislich seit mehreren Jahrhunderten unter Weideeinfluss (POTT & HÜPPE 1991). Die untersuchten Bestände werden in Tab. 1 durch Belegaufnahmen dokumentiert.

2.2 Probeflächendesign und Zeitraum

Für jede dieser Subassoziationen wurden jeweils drei beweidete und drei unbeweidete Beobachtungsflächen eingerichtet. Letztere befanden sich innerhalb von Exclosures, die zuvor aufgebaut wurden (s. STROH & KRATOCHWIL 2004). Die in diesen Flächen vorkommenden Arten umfassen die wesentlichen Charakter- und Differentialarten sowie weitere bezeichnende Arten des *S.-Corynephorum*. Die Strukturaufnahmen fanden im Jahr 2002 in einem vierzehntägigen Rhythmus an den folgenden 12 Terminen statt: 17.04., 06.05., 22.05., 03.06., 18.06., 01.07., 15.07., 29.07., 14.08., 28.08., 11.09., 23.09. Die Rinderbeweidung mit 0,7 Großvieheinheiten setzte Anfang Juni ein. Die mittleren monatlichen Temperaturen lagen im Vergleich zu den Daten von 1961-1990 um durchschnittlich 1,5 °C höher (Messstation Lingen).

2.3 Erfassung der Artmächtigkeiten im Phänologieverlauf und ihre Auswertung

Die Erfassung des Artenbestandes und der Artmächtigkeiten erfolgte nach der Methode von BRAUN-BLANQUET modifiziert nach BARKMAN et al. (1964) in jeweils drei Flächen von 1 m x 0,3 m Größe. Die vegetationskundlichen Aufnahmen der Strukturflächen vom 17.04. bis 01.07.2002 entstammen einer Staatsexamensarbeit (ROTTMANN 2002), die vom 15.07. bis 23.09. von MÜLLER (2003). Die Artmächtigkeiten wurde nach DIERSCHKE (1994) durch Prozentzahlen ersetzt und ein Mittelwert gebildet. Die multivariate Auswertung erfolgte über eine PCA mit dem Programm PC-ORD 5.0, wobei die Vege-

tationsveränderung im Jahresverlauf bei beweideten und unbeweideten Beständen über Zeittrajektorien dargestellt wird.

2.4 Strukturaufnahmen mittels Digitalfotografie und Auswertung

In denselben Flächen wurden die Strukturaufnahmen durchgeführt, wobei hier jedoch nur die Beweidungsphase (15.07 bis 23.09.) Berücksichtigung findet (MÜLLER 2003). Die digitalen Fotoaufnahmen (OLYMPUS CAMEDIA C-1400XL, 1,4 Millionen, Pixel, Brennweite 36-110 mm, Objektivhöhe 15 cm vom Boden) wurden gegen eine senkrecht aufgerichtete, faltenfreie, in einen Aluminiumrahmen eingespannte schwarze Plane (80 cm hoch, 100 cm breit) angefertigt, die die Strukturfläche nach hinten direkt über der Bodenoberfläche abschließt. Nach vorne wurde die Fläche durch eine ebene Plane begrenzt, sodass zwischen Bildwand und Plane auf genau 100 cm Breite und 30 cm Tiefe die Vegetation erkennbar war. Die Analyse der Digitalaufnahmen erfolgte mit dem Programm VESTA = Vertical Vegetation Structure Analysis, die Bearbeitung mit der Software SIDELOOK (NOBIS 2002, ZEHM et al. 2003, ZEHM 2006) für folgende Strukturparameter (Abb. 1):

- a) Vegetationsobergrenze in cm: maximale Höhe je 1 cm-Intervall.
- b) Vegetationsfüllung der Spalten (column denseness) in cm: Menge der schwarzen Pixel (Dichte der Vegetation) pro Streckenabschnitt auf der x-Achse und ihre Höhe auf der y-Achse (Vegetationshöhe).
- c) Vegetationsfüllung der Zeilen (row denseness) in %. Dichte der Vegetation je Höhenstufe (Anteile schwarzer Pixel pro Zeilen-Intervall) unter Berücksichtigung der jeweiligen Percentile, die den Prozentsatz darunter befindlicher Phytomasse angibt (hier 90 %).
- d) Mittlere Lückengröße in cm und Lückenzahl in % (average row-hole sizes and row-hole count) innerhalb eines Höhenintervalls (1 cm). Bei einer Lückenzahl 0 % gibt es entweder keine Lücke oder nur eine große, bei 100 % ist das Verhältnis von Lückenzahl zu vorhandener Vegetation 50:50.

Bei der graphischen Darstellung der Strukturparameter sind die Mittelwerte der sechs Termine der Beweidungsphase (15.07 bis 23.09.), die wiederum Mittelwerte der drei Teilflächen darstellen, angegeben sowie ihr mittlerer Fehler (Standardfehler) zur Kennzeichnung der mittleren Streuung.

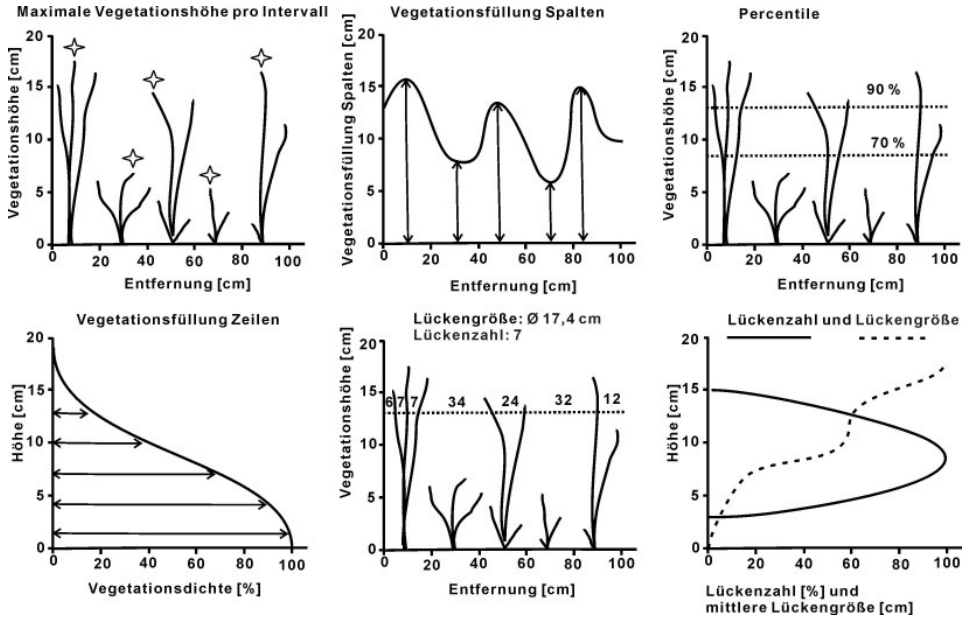


Abb. 1: Verschiedene Strukturparameter: Maximale Vegetationshöhe pro Intervall, Vegetationsfüllung „Spalten“, 70 %- und 90 %- Perzentile, Vegetationsfüllung „Zeilen“, Lückengröße und Lückenzahl (in Anlehnung an ZEHM 2003).

Fig. 1: Different structural parameters (from left to right): Altitudinal profile of vegetation (profile of the highest points within the column intervals), column denseness (black pixel area of a column interval in relation to the total column width), 70 %- and 90 %- percentile, row denseness (black pixel area of a row height interval in relation to the total row area), row-hole count (number of holes for given height intervals) and average row-hole sizes for a given height interval (according to ZEHM 2003).

3 Ergebnisse

3.1 Artzusammensetzung und Artmächtigkeit im phänologischen Verlauf – Vergleich beweidet/unbeweidet

Ein Vergleich mit vier großflächigeren Aufnahmen aus dem Gebiet belegt, dass die Auswahl der Flächen vom Artenspektrum her repräsentativ ist (Tab. 1). Dennoch zeigen sowohl die Tab. 2, die die Phänologie der beiden Subassoziationen darstellt, als auch die Abb. 2a und 2b (Ordinationen), dass die Vegetation der Exclosureflächen und der Weideflächen schon vor Beginn der Untersuchung in der Artenkombination und Artmächtigkeit Unterschiede aufwiesen.

Im *S.-C. typicum* (Tab. 2) konnten 29 Arten in den unbeweideten und 22 Arten in den ab Juni beweideten Flächen untersucht werden. Die Gruppen A und B umfassen Arten, die in allen Flächen vorkommen (A: über fast die gesamte Zeit vegetativ oder blühend, B: zu Beginn bzw. Ende der Vegetationsperiode). Die Gruppe C setzt sich aus Arten zusammen, die innerhalb der Exclosureflächen über die gesamte Vegetationsperiode in hoher Artmächtigkeit vorkamen. In den beweideten Flächen traten sie zu Beginn der Ve-

getationsperiode nicht auf, erst nach Einsetzen der Beweidung kamen sie in geringerer Dichte vor. Die Gruppe D umfasst Arten, die nur in den unbeweideten, die Gruppe E, die nur in den beweideten Flächen vorhanden waren.

Im *S.-C. cladonietosum* (Tab. 2) sind in den unbeweideten Flächen 11 Arten sowie 17 Arten in den beweideten untersucht worden. Auch hier finden sich Arten (Gruppen A und B), die in allen Flächen vorkommen, und solche mit einem Schwerpunkt nur in den unbeweideten und beweideten Flächen.

Tab. 1: Aufnahmen des *Spergulo-Corynephoretum* im Untersuchungsgebiet (2002): ctb = *S.-C. typicum* beweidet, ctu = *S.-C. typicum* unbeweidet, ccb = *S.-C. cladonietosum* beweidet, ccu = *S.-C. cladonietosum* unbeweidet. Arten mit * finden bei der digitalen Strukturanalyse Berücksichtigung.

Tab. 1: Relevés of *Spergulo-Corynephoretum* in the study area (2002): ctb = *S.-C. typicum* grazed, ctu = *S.-C. typicum* non-grazed, ccb = *S.-C. cladonietosum* grazed, ccu = *S.-C. cladonietosum* non-grazed; species with * are characterized by in the digital structural analysis.

Untersuchungsfläche		Ctb	Ctu	Ccb	Ccu
Jahr		2002	2002	2002	2002
Deckung offener Boden (%)		50	20	10	2
Kryptogamendeckung (%)		8	20	20	55
Kräuterdeckung (%)		5	10	10	8
Gräserdeckung (%)		30	35	50	65
Streudeckung (%)		10	25	10	1
Gesamtdeckung (%)		50	80	90	98
Feldschichtdeckung (%)		35	40	60	70
Aufnahmefläche (m²)		25	25	25	25
Ch	Corynephorus canescens*	2b.3	3.3	2m.2	2m.2
	Spergula morisonii*	1.1	1.1	2m.1	+
	Teesdalia nudicaulis*	2m.1	2m.1	2m.1	2m.1
d	Cladonia furcata agg.*	2m.2	2m.2	1.1	2m.2
	Cladonia arbuscula	.	.	2m.1	2b.3
	Cladonia ciliata	.	.	2m.1	2m.2
	Cladonia coccifera*	.	.	1.1	2m.2
	Cladonia floerkeana	.	.	2m.1	2m.2
	Cladonia portentos	.	.	2m.1	2m.2
	Cladonia pyxidata agg.	.	.	2m.1	2m.2
	Cladonia uncialis	.	.	.	+
	Cetraria aculeata	.	.	.	+
	Cetraria islandica	.	.	.	+
	Cladonia phylophora	.	.	.	+
Degradationszeiger					
	Calluna vulgaris*	.	.	2a.3	2a.3

		Ctb	Ctu	Ccb	Ccu
	Pleurozium schreberi	.	.	2m.2	2m.2
	Hypnum cupressiforme agg.	.	.	2m.2	2m.2
	Koelerio-Corynephoretea				
	Agrostis vinealis*	2m.2	2m.2	2b.2	2a.2
	Aira praecox*	2m.2	2m.2	2m.2	1.1
	Carex arenaria*	2m.2	2m.2	2m.2	2m.2
	Cerastium semidecandrum*	2m.1	2m.1	1.1	1.1
	Rumex acetosella*	2m.1	2m.2	2a.2	2m.2
	Arenaria serpyllifolia*	2m.1	2m.1	1.1	.
	Erophila verna*	2m.1	2m.1	.	+
	Sedum acre*	2m.2	2a.2	.	+
	Poa humilis*	2m.1	1.1	.	.
	Trifolium arvense*	+	1.1	.	.
	Erodium cicutarium	1.2	.	.	.
	Trifolium campestre	1.1	.	.	.
	Ornithopus perpusillus	+	.	.	.
	Potentilla argentea	.	+	.	.
	Sonstige: Phanerogamen				
	Agrostis capillaris*	1.1	2m.2	1.1	1.2
	Festuca tenuifolia*	2a.3	2m.1	2b.3	3.3
	Veronica arvensis*	2m.1	2m.1	1.1	1.1
	Luzula campestris*	2m.2	2m.2	2m.2	1.2
	Stellaria media	1.1	1.1	.	1.1
	Hypochaeris radicata*	+	+	.	.
	Anthoxanthum aristatum	1.1	1.1	.	.
	Arabidopsis thaliana*	2m.1	1.1	.	.

		Ctb	Ctu	Ccb	Ccu
	Scleranthus annuus agg.*	2m.2	+	.	.
	Leontodon saxatilis*	1.1	1.1	.	.
	Cylisus scoparius juv.	1.1	+	.	.
	Festuca rubra ssp. rubra	1.1	+	.	.
	Coryza canadensis	+	+	.	.
	Trifolium dubium	+	+	.	.
	Quercus robur (juv.)	.	+	+	.
	Bromus hordeaceus*	1.1	.	.	.
	Cerastium glomeratum	1.1	.	.	.
	Claytonia perfoliata	1.1	.	.	.
	Aphanes inexpectata	+	.	.	.
	Vicia angustifolia	r	.	.	.
	Bromus sterilis	.	1.1	.	.
	Capsella bursa-pastoris	.	+	.	.
	Geranium pusillum	.	+	.	.
	Cerastium holcetoidees	.	.	.	+
	Sonstige: Moose				
	Ceratodon purpureus*	2m.2	2a.2	2a.3	2m.2
	Dicranum scoparium*	1.2	2m.2	1.2	2m.2
	Polytrichum piliferum*	2m.2	2m.2	2a.3	2m.2
	Rhytidiadelphus squarrosus*	1.2	1.2	2m.2	2m.2
	Polytrichum juniperinum*	2m.2	.	2m.2	1.2
	Campylopus introflexus*	.	2m.2	2m.2	3.4
	Brachythecium albicans*	2m.2	2m.2	.	.
	Brachythecium rutabulum	.	1.2	.	.
	Scleropodium purum	.	1.2	.	.

Die Abb. 2a belegt die phänologische Entwicklung im *S.-C. typicum* auf der Basis einer PCA. Die unbeweideten Flächen zeigen größere Veränderungen als die beweideten, was an der Länge der Zeittrajektorien erkennbar ist. Eine deutliche Abnahme der Artenzahl kann mit Einsetzen der Beweidung nicht korreliert werden (Tab. 2; im Durchschnitt $14,3 \pm 1,3$ zu $12,8 \pm 1,5$ Arten). Im *S.-C. cladonietosum* (Abb. 2b) kehren sich die Phänomene um. Unter Nichtbeweidung sind die Veränderungen gering, wohingegen unter Beweidung die Ordinationspunkte zum Teil weit auseinanderliegen. Eine deutliche Abnahme der Artenzahl kann auch hier mit Einsetzen der Beweidung nicht festgestellt werden (Tab. 2; im Durchschnitt $14,5 \pm 0,6$ zu $13,8 \pm 0,8$).

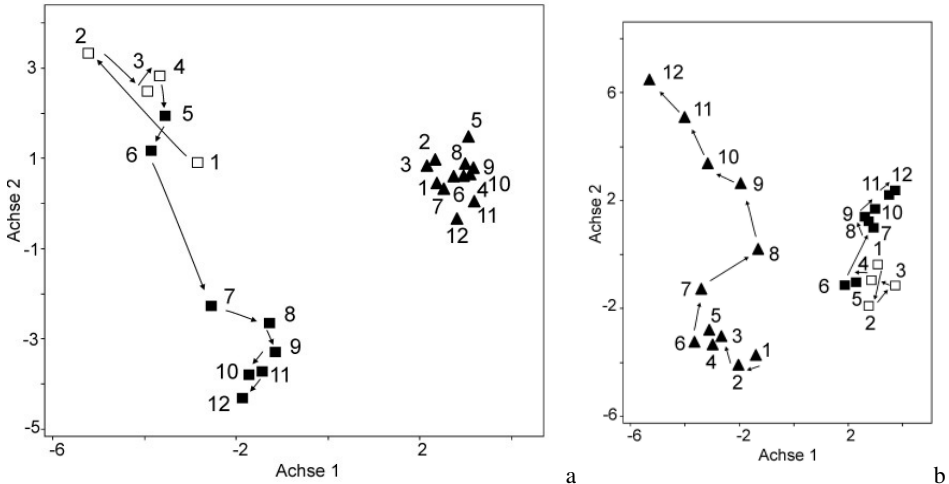


Abb. 2: PCA der Vegetationsaufnahmen der beweideten und unbeweideten Flächen zu 12 verschiedenen Zeitpunkten der Vegetationsperiode. Schwarze Dreiecke: unbeweidet; nicht ausgefüllte Quadrate: Beweidung noch nicht begonnen; schwarze Quadrate: beweidet: a) *S.-C. typicum*: Achse 1: $\lambda = 9,2$; 31,8 % Var., Achse 2: $\lambda = 7,6$; 26,4 % Var., b) *S.-C. cladonietosum*: Achse 1: $\lambda = 8,5$; 44,4 % Var., Achse 2: $\lambda = 4,5$; 23,8 % Var.

Fig.2: PCA of the vegetation relevés taken from the grazed and non-grazed sites on 12 dates during the vegetation period. Black triangles: non-grazed; white squares: grazing not yet started; black squares: grazed. a) *S.-C. typicum*: axis 1: $\lambda = 9.2$; 31.8 % var., axis 2: $\lambda = 7.6$; 26.4 % var., b) *S.-C. cladonietosum*: axis 1: $\lambda = 8.5$; 44.4 % var., axis 2: $\lambda = 4.5$; 23.8 % var.

3.2 Vegetationsobergrenze

Da eine Beweidung erst ab Juni auf den Flächen einsetzte und ein merklicher Weideeinfluss, wie vergleichende Analysen zeigen, erst nach ca. 5-6 Wochen feststellbar war, erfolgt hier eine differenzierte Analyse aller Strukturparameter nur für den Zeitraum 15.07. bis 23.09. Die Diagramme zeigen den Mittelwert und die mittlere Streuung für 6 Termine.

Während die durchschnittliche Vegetationsobergrenze im *S.-C. typicum* unter Beweidung bei nur 10,1 cm liegt, erreicht sie bei Nichtbeweidung 21,7 cm (Abb. 3a). Im *S.-C.*

cladonietosum hingegen (Abb. 3b) ist die Obergrenze bei Beweidung höher (26,6 cm) als bei Nicht-Beweidung (22,1 cm).

Nimmt man den Wert der mittleren Streuung als Maß für die Variation der Vegetationsobergrenzen zwischen den verschiedenen Terminen, so ist im unbeweideten *S.-C. typicum* eine größere Streuung feststellbar ($\pm 3,3$ cm) als im beweideten ($\pm 1,0$ cm). Im *S.-C. cladonietosum* unterscheidet sich in dieser Hinsicht der unbeweidete Bereich nicht vom beweideten ($\pm 1,1$ und $\pm 1,4$ cm).

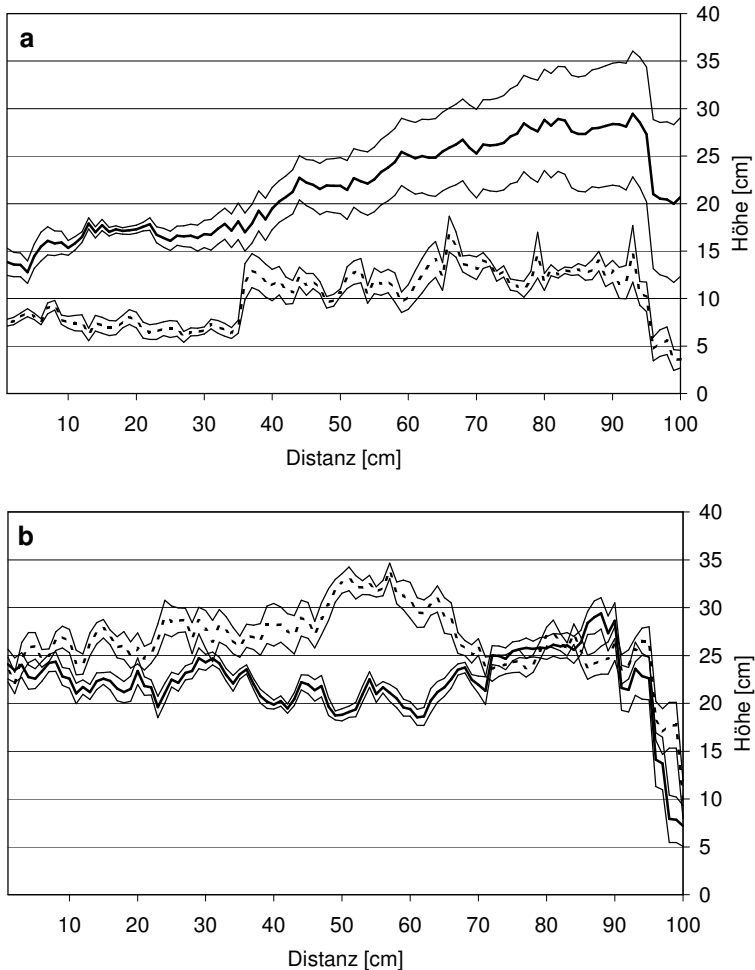


Abb. 3: Vegetationsobergrenzen der beweideten (gebrochene Linie) und unbeweideten Flächen (durchgezogene Linie) zwischen dem 15.07. und 23.09. (6 Termine): a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

Fig. 3: Altitudinal profile of vegetation (highest points within the column intervals of the image) in grazed (broken line) and non-grazed (continuous line) sites (15.7.-23.9.; 6 dates). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

3.3 Vertikale Strukturdichtevertelung (x-Achse)

Der Kurvenverlauf der vertikalen Strukturdichtevertelung (Vegetationsfüllung „Spalten“) ähnelt bei der typischen Subassoziation dem der Vegetationsobergrenze (Abb. 4a). Der unbeweidete Bestand hat eine höhere vertikale Strukturdichte als der beweidete ($9,8 \text{ cm} \pm 0,5$ gegenüber $3,7 \text{ cm} \pm 0,3$). Auch im Falle des *S.-C. cladonietosum* (Abb. 4b) ist der Verlauf der vertikalen Strukturdichtevertelung dem der Vegetationsobergrenze sehr ähnlich. Der unbeweidete Bestand hat eine annähernd gleich vertikale Strukturdichte wie der beweidete ($12,1 \text{ cm} \pm 0,7$ gegenüber $12,2 \text{ cm} \pm 0,7$). In keinem der Fälle gibt es erhebliche Unterschiede in der mittleren Streuung der Werte.

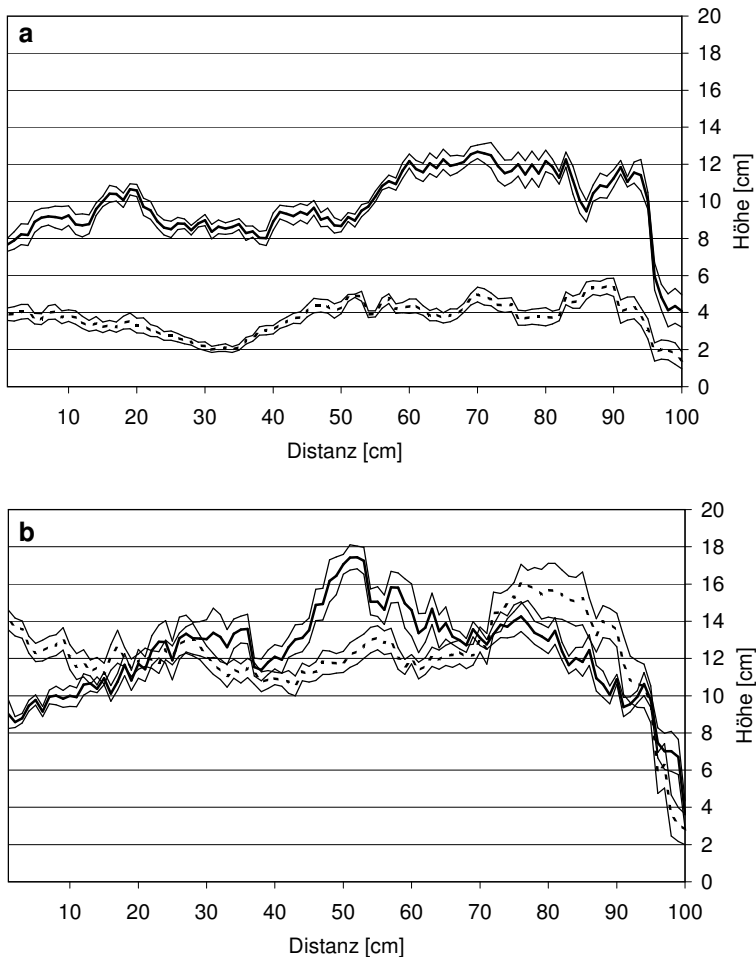


Abb. 4: Verlauf der vertikalen Strukturdichte (Vegetationsfüllung „Spalten“) in beweideten (gebrochene Linie) und unbeweideten Flächen (durchgezogene Linie) zwischen dem 15.07. und 23.09. (6 Termine): a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

Fig. 4: Column denseness (black pixel area of a column interval in relation to the total column width) in grazed (broken line) and non-grazed (continuous line) sites (15.7.-23.9.; 6 dates). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

3.4 Vertikale Strukturdichtevertelung (y-Achse)

Die Analyse der vertikalen Strukturdichte (Zeilenfüllung) zeigt, dass die Vegetationsdichte im *S.-C. cladonietosum* im Vergleich zum *S.-C. typicum* höher ist (Abb. 5a und b). Im *S.-C. typicum* existiert eine höhere Vegetationsdichte bei Nichtbeweidung, eine geringere bei Beweidung. Im *S.-C. cladonietosum* sind die Verhältnisse komplizierter. Im beweideten Bestand ist die Vegetation im Vergleich zum unbeweideten Bestand unterhalb von 15 cm Vegetationshöhe von geringerer Dichte, oberhalb davon jedoch von höherer.

Im *S.-C. typicum* streuen die Werte im beweideten Bereich mit zunehmender Vegetationshöhe im Gegensatz zum unbeweideten Bestand, der eine gleichmäßig geringe mittlere Streuung aufweist. Letzteres gilt auch für die beweideten und unbeweideten Flächen des *S.-C. cladonietosum*.

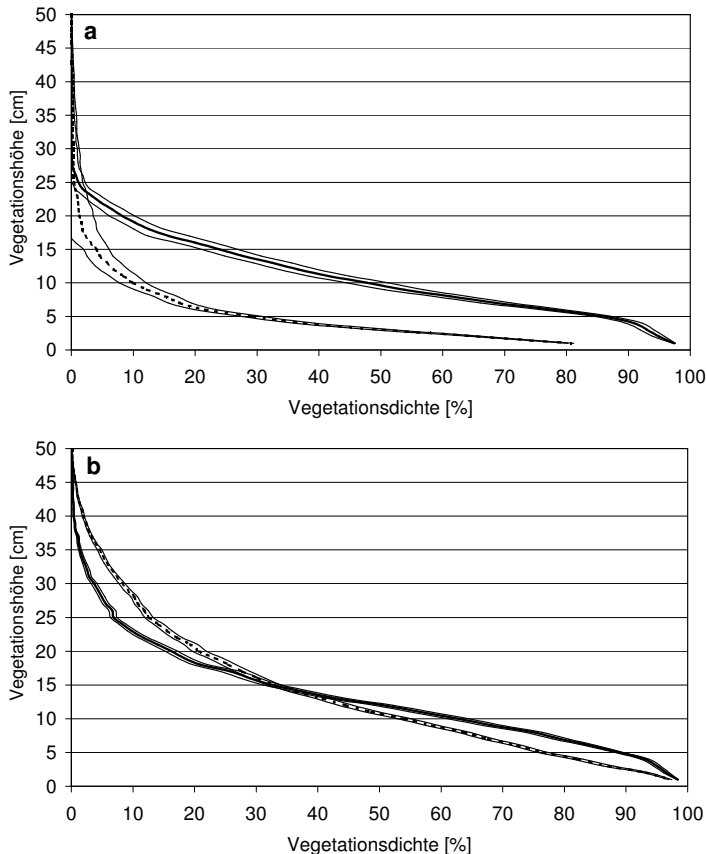


Abb. 5: Verlauf der vertikalen Strukturdichte (Vegetationsfüllung „Zeilen“) in beweideten (gebrochene Linie) und unbeweideten Flächen (durchgezogene Linie) zwischen dem 15.07. und 23.09. (6 Termine): a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

Fig. 5: Row denseness (black pixel area of a row height interval in relation to the total row area) in grazed (broken line) and non-grazed (continuous line) sites (15.7.-23.9.; 6 dates). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

3.5 Lückenzahl und mittlere Lückengröße

Das beweidete *S.-C. typicum* hat weniger Lücken als das unbeweidete (Abb. 6a). Entsprechend sind die mittleren Lückengrößen aufgrund der geringeren Vegetationshöhe und -dichte in den beweideten Flächen größer als in den unbeweideten (Abb. 7a). Ihr Kurvenverlauf zeigt in einer Höhe von ca. 14-23 cm eine größere Streuung. In den beweideten Flächen erreicht die Lückenzahl in 5 cm Vegetationshöhe ihr Maximum, in den unbeweideten in 10 cm Höhe. Die Lückenzahl direkt an der Bodenoberfläche ist in den beweideten Flächen doppelt so groß (20 %) wie in den unbeweideten (10 %). Im Vergleich zum *S.-C. typicum* hat das *S.-C. cladonietosum* eine allgemein höhere Lückenzahl sowohl in den beweideten als auch in den unbeweideten Flächen (Abb. 6b). Hinsichtlich der mittleren Lückengröße sind unterhalb 20 cm keine Unterschiede zwischen beiden feststellbar, oberhalb sind die mittleren Lückengrößen der beweideten Fläche geringer als in den unbeweideten, was mit ihrer höheren Vegetationsdichte in größerer Vegetationshöhe korreliert (Abb. 7b).

Für die Lückenzahl und Lückengröße ist die mittlere Streuung in den beweideten und unbeweideten Bereichen gleich groß. Eine Ausnahme betrifft die mittlere Lückengröße in den ersten 20 cm Vegetationshöhe, wo keine Streuung feststellbar ist.

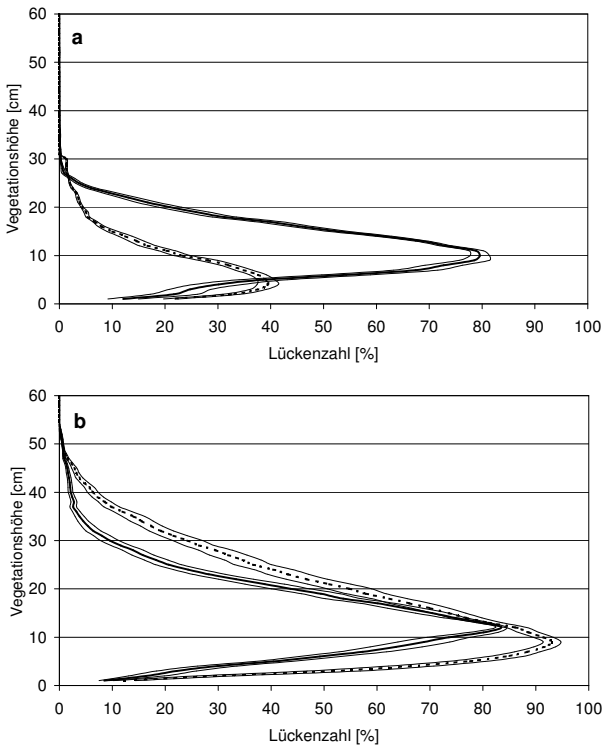


Abb. 6: Lückenzahl in beweideten (gebrochene Linie) und unbeweideten Flächen (durchgezogene Linie) zwischen dem 15.07. und 23.09. (6 Termine): a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

Fig. 6: Row-hole count (number of holes for given height intervals) in grazed (broken line) and non-grazed (continuous line) sites (15.7.-23.9.; 6 dates). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

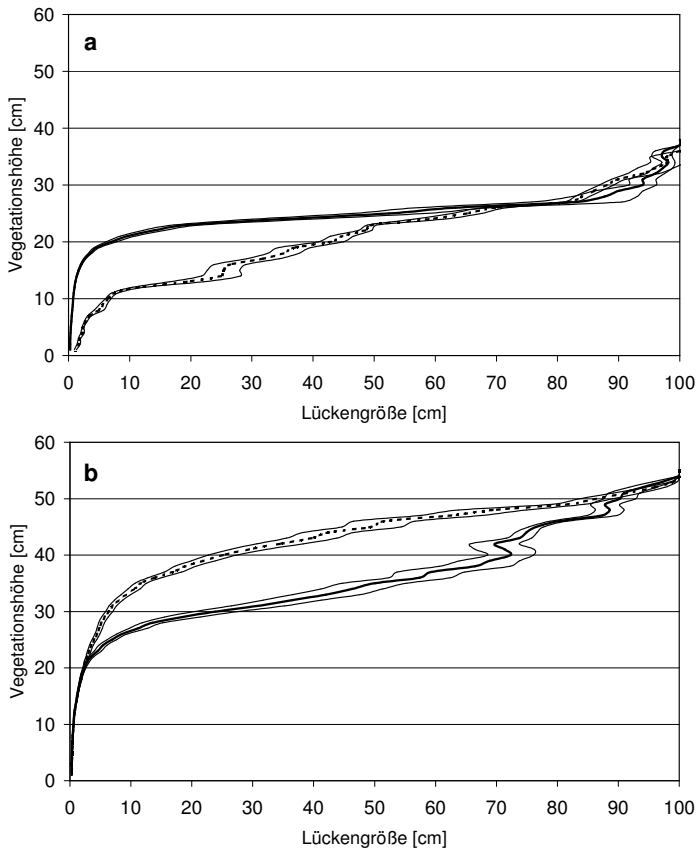


Abb. 7: Lückengröße in beweideten (gebrochene Linie) und unbeweideten Flächen (durchgezogene Linie) zwischen dem 15.07. und 23.09. (6 Termine). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

Fig. 7: Average row-hole sizes for a given height interval in grazed (broken line) and non-grazed (continuous line) sites (15.7.-23.9.; 6 dates). a) *S.-C. typicum*, b) *S.-C. cladonietosum*.

3.6 Vergleich der Parameter

In Tab. 3 sind die verschiedenen Parameter einander gegenübergestellt. Im *S.-C. typicum* haben die unbeweideten Flächen eine höhere Vegetationsobergrenze, eine höhere Strukturdichte (Zeilen, Spalten) und größere Lückenzahl als die beweideten. Eine große zeitliche Variation (Streuung) zeigt sich nur in den unbeweideten Flächen hinsichtlich Vegetationsobergrenze, Vegetationsfüllung Spalten, Lückenzahl und Lückengröße (letzterer nur in einem Bereich von weniger als 25 cm Vegetationshöhe).

Das *S.-C. cladonietosum* verhält sich zum Teil genau entgegengesetzt. Dies gilt besonders bei dem Vergleich beweidet/unbeweidet bei der Vegetationsobergrenze, aber auch bei der Vegetationsfüllung „Zeilen“ und Lückenzahl. Eine größere Streuung haben nur die Werte der mittleren Lückengröße im beweideten Bestand.

Tab. 3: Synoptischer Vergleich der verschiedenen untersuchten Parameter im *S.-C. typicum* und *S.-C. cladonietosum* sowohl im unbeweideten als auch im beweideten Bereich für den Zeitraum 15.07. bis 23.09.

Tab. 3: Synoptic comparison of the specific parameters in the *S.-C. typicum* and *S.-C. cladonietosum* in grazed and non-grazed sites (15.7. and 23.9.)

	„typicum“ unbeweidet	„typicum“ beweidet	„cladonietosum“ unbeweidet	„cladonietosum“ beweidet
Veränderungen Artenzusammensetzung/ Artmächtigkeit	groß	gering	gering	groß
Vegetationsobergrenze (Mittelwert ± Streuung)	höher (21,7 ± 3,3)	niedriger (10,1 ± 1,0)	niedriger (22,1 ± 1,1)	höher (26,6 ± 1,4)
Streuung	größer	geringer	gleich	gleich
Vegetationsfüllung „Spalten“ (Mittelwert ± Streuung)	höher (9,8 ± 0,5)	niedriger (3,7 ± 0,3)	gleich (12,1 ± 0,7)	gleich (12,2 ± 0,7)
Streuung	gleich	gleich	gleich	gleich
Vegetationsfüllung „Zeilen“	höher	niedriger	oberhalb 90 %- Percentile geringer, unterhalb höher	oberhalb 90 %- Percentile höher, unterhalb geringer
Streuung	> 5 cm	wenig	kaum	kaum
Lückenzahl im Maximum	Größer	geringer	geringer	wesentlich größer
Streuung	Wenig	wenig	wenig	wenig
Lückengröße	korreliert mit Vegetations- füllung	korreliert mit Vegetations- füllung	korreliert mit Vegetationsfüllung „Zeilen“	korreliert mit Vegetationsfüllung „Zeilen“
Streuung	größer	wenig	gleich	gleich

4 Diskussion

4.1 *Spergulo-Corynephorum typicum*: Vergleich unbeweidete/beweidete Bestände

Veränderungen in der phänologischen Entwicklung eines Bestandes können auf bestimmten Entwicklungszyklen (Frühlingsgeophyten, perennierende Arten), aber auch auf dem Einfluss der Beweidung (Fraß, Überschüttung mit Bodensubstrat, kompensatorisches Wachstum) beruhen. Bei der Analyse der Artenzusammensetzung und Artmächtigkeit waren im unbeweideten Bestand größere, im beweideten geringere Unterschiede in der Jahresphänologie feststellbar. Eine Analyse auf Artebene zeigt, dass die Unterschiede im unbeweideten Bereich vor allem auf einem gestaffelten Phänologiewechsel einzelner Artengruppen beruhen. Einer im April erscheinende Artengruppe (*Erophila verna*, *Cerastium semidecandrum*, *Hypochaeris radicata*, *Teesdalia nudicaulis* u. a.) mit einem frühen Abschluss ihrer Entwicklung folgt im Mai eine zweite aufwachsende Gruppe (*Poa humilis*, *Festuca tenuifolia*, *Bromus hordeaceus*). Im Juli wächst *Leontodon saxatilis* auf, gefolgt von einer weiteren Gruppe (*Dicranum scoparium*, *Ceratodon purpureus* u. a.), die den Spätaspekt dominiert. Der beweidete Bestand war schon von Beginn der Untersuchungen artenärmer (Ausfall der Artengruppe

D), auch zeigt er keine so deutliche Staffelung. Der „phänologische Verlust“ der früh aufwachsenden Arten (*Erophila verna*, *Cerastium semidecandrum*, *Hypochaeris radicata*, *Teesdalia nudicaulis* u. a.) wird in der zweiten Jahreshälfte durch eine annähernd gleiche Anzahl neuer Arten kompensiert (*Leontodon saxatilis*, *Trifolium arvense*, *Ceratodon purpureus*, *Agrostis vinealis* u. a.). Auch beruhen die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den beweideten und unbeweideten Flächen bei den Ordinationen darauf, dass beide Flächen zu Beginn der Untersuchungen einige Unterschiede aufwiesen. Sie trennen sich in der PCA entlang der x-Achse bereits zu Beginn der Untersuchung.

Von einem Beweidungseinfluss sind nicht alle Arten der Gruppen A und B, die den Bestand dominieren, gleich stark betroffen. Eine Abnahme der Artmächtigkeit ist besonders bei *Corynephorus canescens* und *Rumex acetosella* feststellbar. Die Reduktion erfolgte in diesem Falle durch Tritt.

Die beweidete Fläche besitzt viele offene Flächen und kaum Vegetationsdeckung. Da nur wenig Phytomasse zur Verfügung steht, wird das *S.-C. typicum* eher zum Ruhen und Wiederkäuen aufgesucht. Die Fläche zeigt zahlreiche Faeces-Ablagerungen. Der lockere Sand wird häufig umgelagert und kann leicht verweht werden. Die Vegetation ist stark zertreten. Unter diesen Gesichtspunkten sind auch die unterschiedlichen Ergebnisse in der Analyse der Strukturparameter zwischen den beweideten und unbeweideten Flächen zu interpretieren. So ist es bemerkenswert und ein Beleg für den Einfluss des Viehtritts, dass die Vegetationsdichte bis auf 2 cm Vegetationshöhe reduziert wird. In einer von Fraß geprägten Fläche ist dies nicht der Fall (s. die Diskussion bei *S.-C. cladonietosum*).

Die durchschnittliche Vegetationshöhe ist im *S.-C. typicum* unter dem Viehtritt wesentlich niedriger. In der unbeweideten Fläche verläuft die Vegetationsobergrenze recht ungleichmäßig und wird durch *Corynephorus canescens*, zum Teil auch *Leontodon saxatilis* gebildet. Die beweideten Flächen besitzen keine größeren Unterschiede im Vegetationsobergrenzenverlauf, da der Viehtritt im Vergleich zu den unbeweideten Flächen (größere Streuung) sich nivellierend auswirkt. Die Vegetationsfüllung „Spalten“ korreliert aufgrund der geringen Phytomasse des Bestands mit der Vegetationsobergrenze. Tritt wirkt sich auf die Deckung von *Corynephorus canescens* negativ aus. So ist diese auch in der unbeweideten Fläche höher. Auf der anderen Seite bleibt der Sand unter Viehtritt verwehungsunfähig, was für eine Etablierung günstig ist. Auch benötigt *Corynephorus canescens* stete Sandzufuhr für sein Wachstum (ELLENBERG 1996). Andere Arten (*Agrostis capillaris*, *Festuca tenuifolia*, *Carex arenaria*) bleiben ebenfalls in der Fläche erhalten, jedoch in geringerer Deckung.

Bei der Vegetationsfüllung „Zeilen“ ist die Vegetationsdichte der unbeweideten Flächen wesentlich höher, die der beweideten geringer und unterschreitet auch hier wieder die Marke unter 5 cm deutlich. Die Kurven der beweideten Flächen haben einen exponentiellen Verlauf, die der unbeweideten sind geradliniger. Durch Tritt nimmt anders als bei Fraß die Vegetationsdichte nicht gleichmäßig über alle Straten hinweg ab.

Die phänologische Analyse der Vegetationsdichte ergibt eine erhebliche Streuung in den beweideten Flächen insbesondere oberhalb von 5 cm, was auch auf Tritt zurückgeführt werden kann.

Die höhere Dichte in den unbeweideten Flächen des *S.-C. typicum* spiegelt sich auch in der größeren Lückenzahl wider. Bei einer höheren Strukturdichte können viele kleine Lücken entstehen, wohingegen durch den Viehtritt wenige, große Lücken erzeugt werden, was gleichzeitig eine geringe Streuung in der Lückengröße im zeitlichen Verlauf bewirkt. Dies belegen die Ergebnisse der Analyse Lückenzahl und mittlere Lückengröße. SILVERTON & SMITH (1988) weisen darauf hin, dass durch Tritt zusätzliche Lücken („gaps“) entstehen, die einen Durchmesser von 1-2 cm bis 10-20 cm haben. An solchen Stellen kommt es zu einer „in-situ“-Aktivierung der Samenbank im Boden. Eine solche Aktivierung setzt voraus, dass die lagernden Diasporen an die Bodenoberfläche gelangen; dies geschieht über Tritt des Weideviehs und über die durch den Wind verursachten Sandverlagerungen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass eine Etablierung zahlreicher Arten (insbesondere *Carex arenaria* und *Corynephorus canescens*, die beide eine persistente Diasporenbank aufbauen) gut möglich ist (KRATOCHWIL et al. 2002, EICHBERG et al. 2006). Aber auch Diasporen, die von außen über Endo- und Exozoochorie durch Weidetiere eingebracht werden (EICHBERG et al. 2007, WESSELS 2007), finden an offenen Stellen gute Keimbedingungen. Vor allem können sich konkurrenzschwache Arten hier ausbreiten (BULLOCK et al. 1994, SCHWABE et al. 2004). Konkurrenzstarke Pflanzen, die hoch aufwachsen und ein dichtes Blattwerk haben, werden durch Beweidung dagegen niedrig gehalten (MARRIOT & CARRERE 1998).

4.2 *Spergulo-Corynephorum cladonietosum*: Vergleich unbeweidete/beweidete Bestände

Im *S.-C. cladonietosum* zeigen bei der Analyse der Artenzusammensetzung und Artmächtigkeit die beweideten Flächen die größeren Veränderungen und nicht die unbeweideten wie im Falle des *S.-C. typicum*. Während im unbeweideten Bestand das Ende der Entwicklung von *Spergula morisonii* und *Teesdalia nudicaulis* durch das Aufwachsen von *Calluna vulgaris* und *Agrostis vinealis* kompensiert wird, sind die Veränderungen im beweideten *S.-C. cladonietosum* größer (Ende der Entwicklung von *Spergula morisonii*, *Teesdalia nudicaulis*, *Aira praecox*, *Cladonia coccifera*, deutlicher Rückgang von *Rumex acetosella*, Aufwachsen von *Dicranum scoparium* und *Luzula campestris*). Nach längerer Beweidung verändert sich die Artenzahl nicht, wohl aber verringert sich die Artmächtigkeit von *Rumex acetosella*. Dies gilt aber auch für den unbeweideten Bereich. *Corynephorus canescens* nimmt unter Beweidung nicht ab, die Art wird von Rindern gemieden (PORZIG & SAMBRAUS 1991, BUTTENSCHØN & BUTTENSCHØN 1982). *Agrostis vinealis* wird in der beweideten Fläche von Rindern verschmäht (im Gegensatz zu *Agrostis capillaris*) und dadurch indirekt gefördert (BUTTENSCHØN & BUTTENSCHØN 1982, KRATOCHWIL et al. 2002). Geschmack, Oberflächenstrukturen, Rohfasergehalt u. a. m. können für die Wahl einer Pflanzenart ausschlaggebend sein (BUTTENSCHØN & BUTTENSCHØN 1982). Neuere Beobachtungen im *Diantho-Armerietum* zeigen, dass jedoch auch gelegentlich (ob zufällig?) *A. vinealis* verbissen wird (DITTRICH 2008).

Die Vegetationsobergrenze ist im beweideten *S.-C. cladonietosum* höher als im unbeweideten. Dies wird durch *Agrostis vinealis* bewirkt, das vom Vieh gemieden wird, aber auch durch *Corynephorus canescens* und *Rumex acetosella*. Bei der unbeweideten Fläche bildet *Festuca tenuifolia* und *Agrostis vinealis* (allerdings in geringerer Deckung)

die Obergrenze. Die dichteren Bestände von *Festuca tenuifolia* bewirken hier einen gleichmäßigeren Verlauf der Vegetationsobergrenze. Ab dem 14.08. wachsen einzelne Sprosse von *F. tenuifolia* nach, während einzelne *Agrostis vinealis*-Blütenstände länger stehen bleiben.

Bei der vertikalen Strukturdichtevertelung (Spalten) korrelieren die Ergebnisse mit der Analyse der Vegetationsobergrenze. Der unbeweidete Bereich unterscheidet sich von dem beweideten nicht erheblich. Ein Grund liegt in der größeren Phytomasse des *S.-C. cladonietosum*.

Wie im *S.-C. typicum* sind besonders in den beweideten Beständen, aber auch im unbeweideten Bestand, Variationen in der Vegetationsobergrenze zwischen dem 15.07. und 23.09. feststellbar, aber nur wenige Variationen der Vegetationsfüllung „Spalten“. Auch dies kann dadurch begründet werden, dass ein ständiges kompensatorisches Wachstum für einen größeren Ausgleich der verlorenen Phytomasse sorgt (s. z. B. TURNER et al. 1993, LENNARTSON et al. 1998, HUHTA et al. 2000a, 2000b).

Veränderungen durch Fraß finden sich erst oberhalb von 5 cm, da Rinder die Pflanzen mangels fehlender Zähne im Oberkiefer nicht abbeißen, sondern unter Zuhilfenahme der Zunge abreißen und mit den Zähnen des Unterkiefers gegen die Oberkieferplatte quetschen müssen. So weist auch SAMBRAUS (1991) darauf hin, dass Weidepflanzen nur bis zu einer Höhe von 3-5 cm über dem Boden erfasst werden können. Das beweidete *S.-C. cladonietosum* wird jedoch nicht bis auf 5 cm niedergefressen, dafür sorgt neben dem kompensatorischen Wachstum insbesondere auch das Stehenbleiben nicht schmackhafter Arten oder die Anwesenheit von Geilstellen, die vom Vieh gemieden werden.

Analog zum *S.-C. typicum* ist auch im unbeweideten *S.-C. cladonietosum* die vertikale Strukturdichte (Zeilen) bis in etwa 15 cm über dem Boden höher, hervorgerufen durch den dichten Wuchs von *Festuca tenuifolia*-Horsten. In der beweideten Fläche wird dies durch die dicht wachsende *Calluna vulgaris* und die dichten Horste von *Corynephorus canescens* bewirkt. Zusammen erreichen sie aber nicht die gleiche Strukturdichte wie *Festuca tenuifolia*. Oberhalb von 15 cm haben die beweideten Flächen eine höhere Strukturdichte, bedingt durch das Auftreten von *Agrostis vinealis* (Abb. 6b). Auch dieses Ergebnis kann nur durch das selektive Meiden von *A. vinealis* interpretiert werden.

Sowohl im unbeweideten als auch im beweideten Bereich ist eine geringe Variation der Strukturdichten erkennbar; Letzteres kann auf einen kontinuierlichen Beweidungsdruck zurückgeführt werden. Dies zeigt auch die gleichmäßig verlaufende Kurve der mittleren Lückengröße. Die Kurve der unbeweideten Flächen hingegen zeigt einen unruhigeren Verlauf, der auf Blüten- und Fruchtstände in 40 cm und 50 cm Höhe zurückzuführen ist (u.a. von *Festuca tenuifolia*). Die Lückenzahl ist im *S.-C. cladonietosum* im beweideten Bestand größer als im unbeweideten. Auch dies wird durch Fraß bewirkt, weniger durch Tritt. Die Zunahme der Lückengröße ist auch in den höchsten Vegetationsschichten am stärksten ausgeprägt und deutlicher im beweideten Bereich, wo ja auch die Vegetationsdichte größer ist (gemiedene Arten und Arten mit einem kompensatorischen Wachstum) als im unbeweideten.

4.3 Synoptische Betrachtung

Über die PCA der Artenzusammensetzung und Artenmächtigkeit konnten Unterschiede zwischen der beweideten und unbeweideten Fläche aufgezeigt werden. In vielen Fällen korrelieren diese Veränderungen mit den Ergebnissen einzelner Strukturparameter, jedoch nicht immer. Die hier vorgestellte Strukturanalyse mit VESTA und SIDELOOK ermöglicht jedoch wesentlich präzisere Ergebnisse. Sie belegen, dass extensive Beweidung einen deutlichen Einfluss auf die Vegetationsstruktur des *S.-C. typicum* und *S.-C. cladonietosum* ausübt. Im *S.-C. typicum* ist der entscheidende Faktor, der auf die einzelnen Strukturparameter Einfluss nimmt, die Wirkung des Viehtritts, im *S.-C. cladonietosum* sind es die Faktoren selektiver Fraß, kompensatorisches Wachstum schmackhafter beweideter Gräser und Meiden schlecht schmeckender Arten. Diese unterschiedlichen Faktoren führen zu unterschiedlichen Ergebnissen (Vegetationsobergrenze, Vegetationsfüllung „Spalten“ und „Zeilen“, Lückenzahl, Lückengröße).

Das *S.-C. typicum* hat im Gebiet für Rinder eine wichtige Bedeutung als trockener Lagerplatz zum Ruhen und Wiederkäuen. Dabei führt der Tritt der Rinder zu einer Verringerung der Vegetationsobergrenze im *S.-C. typicum* und ermöglicht immer wieder die Schaffung offener Flächen und gibt damit konkurrenzschwachen Pflanzenarten die Möglichkeit einer Etablierung über die Samenbank. Das *S.-C. typicum* ist in den beweideten Flächen durch eine sehr hohe Dynamik charakterisiert. Beweidung führt im *S.-C. typicum* zu wenigen, dafür aber großen Lücken in der Vegetationsstruktur und damit zu einer Fixierung des frühen Pionierstadiums.

Im *S.-C. cladonietosum* ist der entscheidende Faktor der selektive Fraß, der zu einem kompensatorischen Wachstum schmackhafter Arten und einem Meiden schlecht schmeckender Arten führt. Dadurch kommt es zu einer sehr dichten Vegetation in den tieferen Straten. Auch wird die Vegetation von Geilstellen lange Zeit gemieden. Durch das Weideverhalten wird die Vegetationsstruktur nur oberhalb 5-10 cm beeinflusst. Dies hat eine verdämmende Wirkung auf eine Neuetablierung von Arten aus der Samenbank zur Folge. Durch das Stehenlassen nicht schmackhafter Gräser nimmt die Dichte in den höheren Straten zu. Sie bestimmen die Vegetationsobergrenze im *S.-C. cladonietosum*. In den hier untersuchten Flächen wird *Agrostis vinealis* gegenüber *Festuca tenuifolia* gefördert, was in der beweideten Fläche zu einer höheren Vegetationsobergrenze führt. Extensive Beweidung führt im *S.-C. cladonietosum* lediglich zu einer Sukzessionsretardierung. Eine Förderung des von Rindern gemiedenen *Agrostis vinealis* mindert auf Dauer die Attraktivität dieser Bestände für die Rinder. Es wird in Zukunft zu prüfen sein, ob sich die hier gewonnen Ergebnisse auch am Beispiel anderer Pflanzengesellschaften und auf der Basis anderer Beweidungssysteme übertragen lassen.

Danksagung

Wir danken recht herzlich Herrn Dr. Andreas Zehm (Bayer, Landesamt für Umwelt, Augsburg, ehemals Technische Universität Darmstadt) für die Einführung in die digitale Bildaufnahme-Technik und in die Programme Vesta und Sidelook, ebenso Herrn Dr. Michael Nobis (Birmensdorf). Auch sind wir A. Zehm für die zahlreichen konstruktiven Diskussionen sehr dankbar. Herr Axel Tschuschke (Arbeitsgruppe Ökologie, Universität Osnabrück) konstruierte die für Geländeaufnahmen notwendigen Geräte und unterstützte

uns in technischen Fragen. Auch ihm sei herzlich gedankt. Die Digitalaufnahmen wurden von Frau Dr. Marion Beil (Technische Universität Darmstadt) mit dem Programm Sidelook bearbeitet.

5 Literatur

- BARKMAN, J. J. & P. STOUTJESDIJK (1987): Mikroklimaat, vegetatie an fauna. – Pudoc, Wageningen.
- BARKMAN, J. J., H. DOING & A. SEGAL (1964): Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. – Acta Bot. Neerl. **13**: 394-419.
- BIERMANN, R. & F. J. A. DANIËLS (1997): Changes in a lichen-rich dry sandgrassland vegetation with special reference to lichen-synusiae and *Campylopus introflexus*. – Phytocoenologia **27**: 257-273.
- BIERMANN, R. & F. J. A. DANIËLS (2001): Vegetationsdynamik im *Spergulo-Corynephorum* unter besonderer Berücksichtigung des neophytischen Laubmooses *Campylopus introflexus*. – Braunschweig. Geobot. Arbeiten **8**: 27-37.
- BULLOCK, J. M., B. CLEAR HILL, M. P. DALE & J. SILVERTOWN (1994): An experimental study of the effects of sheep grazing on vegetation change in a species-poor grassland and the role of seedling recruitment into gaps. – J. Appl. Ecol. **31**: 493-507.
- BUTTENSCHØN, J. & R. M. BUTTENSCHØN (1982): Grazing experiments with cattle and sheep on nutrient poor, acidic grassland and heath. II. Grazing impact. – Nat. Jutlandica **21**: 19-27. Aarhus.
- CERNUSCA, A. (1977): Bestandesstruktur, Mikroklima, Bestandsklima und Energiehaushalt von Pflanzenbeständen des alpinen Grasheidegürtels in den Hohen Tauern. Erste Ergebnisse der Projektstudie 1976. – In: CERNUSCA, A. (Ed.): Alpine Grasheide Hohe Tauern, Veröff. Österr. MaB Hochgebirgsprogr. Hohe Tauern **1**: 25-45. Innsbruck.
- DANIËLS, F. J. A. (2000): Über die Dynamik im *Spergulo-Corynephorum* in den Niederlanden. – Ber. Naturwiss. Ges. Bayreuth **24**: 313-314.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie, Grundlagen und Methoden. – Ulmer, Stuttgart.
- DITTRICH, S. (2008): Vegetationskundliche Untersuchungen in den Restitutionsgebieten „Hammer Schleife“ und „Wester Schleife“. – Diplomarbeit Universität Osnabrück.
- EICHBERG, C., C. STORM, A. KRATOCHWIL & A. SCHWABE (2006): A differentiating method for seed bank analysis: validation and application in successional stages of *Koelerio-Corynephoretea* vegetation. – Phytocoenologia **36**: 191-212.
- EICHBERG, C., C. STORM & A. SCHWABE (2007): Endozoochorous dispersal, seedling emergence and fruiting success in disturbed and undisturbed successional stages of sheep-grazed inland sand ecosystems. – Flora **202**: 3-26.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas und der Alpen. 5. A. – Ulmer, Stuttgart.
- FINCK, P., U. HAUKE, E. SCHRÖDER, R. FORST & G. WOITHE (1997): Naturschutzfachliche Landschafts-Leitbilder: Rahmenvorstellungen für das Nordwestdeutsche Tiefland aus bundesweiter Sicht. – Schriftenreihe Landschaftspflege Naturschutz **50**: 1-265.
- HASSE, T. & F. J. A. DANIËLS (2006a): Kleinräumige Vegetationsdynamik in Silbergrasfluren und ihre Bedeutung für ein Pflegemanagement auf Landschaftsebene. – Arbeiten Inst. Landschaftsökol. Münster **15**: 15-26.
- HASSE, T. & F. J. A. DANIËLS (2006b): Species response to experimentally induced habitat change in a *Corynephorus* grassland. – J. Veg. Sci. **17**: 135-146.
- HUHTA, A. P., K. HELLSTROM, P. RAUTIO & J. TUOMI (2000a): A test of the compensatory continuum: fertilization increases and below-ground competition decrease the grazing tolerance of tall wormseed mustard (*Erysimum strictum*). – Evol. Ecol. **14**: 353-372.

- HUHTA, A. P., T. LEMNARTSSON, J. TUOMI, P. RAUTIO & K. LAINE (2000b): Tolerance of *Gentianella campestris* in relation to damage intensity: An interplay between apical dominance and herbivory. – *Evol. Ecol.* **14**: 373-392.
- KRATOCHWIL, A. & A. SCHWABE (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften: Bioökologie. – UTB-Reihe. Ulmer, Stuttgart.
- KRATOCHWIL, A., S. FOCK, D. REMY & A. SCHWABE (2002): Responses of flower phenology and seed production under cattle grazing impact in sandy grasslands. – *Phytocoenologia* **32**: 531-552.
- LENNARTSON, T., P. NILSSON & J. TUOMI (1998): Induction of overcompensation in the field gentian, *Gentianella campestris*. – *Ecology* **79**: 1061-1072.
- LOTZ, L. A. P. & H. OLFF (1987): Variation in biomass and architecture of plants due to small-scale environmental heterogeneity. – In: WERGER, M. et al. (Ed.): *Plant Form and Vegetation Structure*: 109-119.
- MARRIOTT, C. A. & P. CARRERE (1998): Vegetation dynamic – structure and dynamics of grazed vegetation. – *Ann. zootechnie* **47**: 359-370.
- MINARSKI, A. & F. J. A. DANIÉLS (2006): Veränderungen im Dominanzmuster von Kryptogamen-Synusien und Gräsern in einem Sandtrockenrasen-Bestand in den Niederlanden im Zeitraum von 1981 bis 2004. – *Arbeiten Inst. Landschaftsökol. Münster* **15**: 39-41.
- MÜLLER, S. (2003): Die vertikale Vegetationsstruktur Heidenelkenflur (*Dianthus deltoides-Armerietum elongatae*) und Silbergrasflur (*Spergulo vernalis-Corynephorum typicum*) im Emsland (Niedersachsen). – Bachelorarbeit, Univ. Osnabrück.
- NOBIS, M. (2002): SIDELOOK 1.0. – Application Design & Software Engineering. ApplEco-Applications for Ecology, www.appleco.ch.
- OLIVER, H., H. R. OLIVER, J. S. WALLACE & A. M. ROBERTS (1987): Soil heat flux and temperature variation with vegetation, soil type and climate. – *Agric. Forest Meteorol.* **39**: 257-269.
- PARTON, W. J. (1984): Predicting soil temperatures in a shortgrass steppe. – *Soil Sci.* **138**: 93-101.
- PORZIG, E. & H. H. SAMBRAUS (Ed.) (1991) *Nahrungsaufnahmeverhalten landwirtschaftlicher Nutztiere*. – Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- POTT, R. & J. HÜPPE (1991): Die Hudelandschaften Nordwestdeutschlands. – *Abh. Westfälischen Mus. Naturk. Münster* **53**(1/2): 1-313.
- PREISING, E., H.-C. VAHLE, D. BRANDES, J. TÜXEN & H. E. WEBER (1997): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens – Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme: Rasen-, Fels- und Geröllgesellschaften. – *Naturschutz Landschaftspflege Niedersachsen* **20**(5): 1-146.
- ROTTMANN, K. (2002): „Die vertikale Vegetationsstruktur beweideter und unbeweideter Silbergrasfluren (*Spergulo vernalis-Corynephorum canescentis typicum* und *Spergulo vernalis-Corynephorum canescentis cladonietosum*) im Emsland (Niedersachsen). – Staatsexamensarbeit, Univ. Osnabrück.
- SAMBRAUS, H. H. (1991): *Nutztierkunde: Biologie, Verhalten, Leistung und Tierschutz*. – Ulmer, Stuttgart.
- SCHWABE, A. & A. KRATOCHWIL (2008): Sandökosysteme im Binnenland. – In: ZERBE, S. & G. WIEGLEB (Hrsg.): *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. Elsevier.
- SCHWABE, A., A. ZEHM, C. EICHBERG, M. STROH, C. STORM & A. KRATOCHWIL (2004): Extensive Beweidungssysteme als Mittel zur Erhaltung und Restitution von Sandökosystemen und ihre naturschutzfachliche Bedeutung. – *Schriftenreihe Landschaftspflege Naturschutz* **78**: 63-92.
- SILVERTOWN, J. & B. A. SMITH (1988): Gaps in the canopy – the missing dimension in vegetation dynamics. – *Vegetatio* **77**: 57-60.
- SMITH, B., A. F. MARK & J. B. WILSON (1995): A functional analysis of New Zealand alpine vegetation: Variation in canopy roughness and functional diversity in response to an experimental wind barrier. – *Funct. Ecol.* **9**: 904-912.
- STROH, M. (2006): *Vegetationsökologische Untersuchungen zur Restitution von Sandökosystemen*. – Diss., Tech. Univ. Darmstadt. 129 S.
- STROH, M. & A. KRATOCHWIL (2004): Vegetationsentwicklung von restituierten flussnahen Sand-Ökosystemen und Feuchtgrünland im Vergleich zu Leitbildflächen (Emsland, Nieder-

- sachsen). – In: Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz? – NNA-Ber. **17**: 55-68.
- STROH, M., A. KRATOCHWIL, D. REMY, K. ZIMMERMANN & A. SCHWABE (2005): Rehabilitation of alluvial landscapes along the River Hase (Ems river basin, Germany). – Arch. Hydrobiol. **155**: 243-260.
- SUNDERMEIER, A. (1999): Zur Vegetationsdichte der Xerothermrassen nordwestlich von Halle/Saale – Erfassungsmethoden, strukturelle Vegetationstypen und der Einfluss der Vegetationsdichte auf das reproduktive Potential von Xerothermrassen. – Diss. Bot. **316**. Berlin, Stuttgart.
- TURNER, C. L., T. R. SEASTEDT & M. I. DYER (1993): Maximization of aboveground grassland production: The role of defoliation frequency intensity, and history. – Ecol. Applic. **3**: 175-186.
- WESSELS, S. (2007): The contribution of sheep zoochory to the conservation and restoration of target plant communities in isolated sand ecosystems. – PhD thesis, Techn. Univ. Darmstadt.
- ZEHM, A. (2003): Analyse der vertikalen Vegetationsstruktur: Methodenentwicklung und Beziehungen zu Pflanzengesellschaften, Mikroklima, Beweidung und Heuschreckengemeinschaften. – Diss., Techn. Univ. Darmstadt.
- ZEHM, A. (2006): Beiträge zur Typisierung der vertikalen Vegetationsstruktur am Beispiel von Sukzessionsserien in primär basenreichen Binnendünen. – Tuexenia **26**: 121-143.
- ZEHM, A., M. NOBIS & A. SCHWABE (2003): Multiparameter analysis of vertical vegetation structure based on digital image processing. – Flora **198**: 142-160.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Anselm Kratochwil, Sandra Müller¹⁾, Dr. Dominique Remy
 Universität Osnabrück
 FB 5, Ökologie
 Barbarastr. 13, 49069 Osnabrück
 E-Mail: kratochwil@biologie.uni-osnabrueck.de, remy@biologie.uni-osnabrueck.de

¹⁾Jetzt: Max-Planck-Institut für Biogeochemie
 Hans-Knöll-Str. 10, 07745 Jena.
 E-Mail: smueller@bgc-jena.mpg.de