

Calamagrostis epigejos (L.) ROTH: Bestandesstruktur, Gesamtbiomasse und Biomasseverteilung an unterschiedlichen Standorten

Astrid GRÜTTNER und Urte HEINZE

9 Abbildungen und 6 Tabellen

ABSTRACT

GRÜTTNER, A.; HEINZE, U.: *Calamagrostis epigejos* (L.) ROTH: Stand structure, total biomass and biomass allocation in different habitats. - *Hercynia N.F.* 36 (2003): 235–259.

Calamagrostis epigejos is very common in Central Europe and occupies an extraordinary wide range of habitats. One reason for its success might be related to the outstanding variability in traits of stand structure. In this case the variability should be in parts habitat specific and not merely depend on stand vigour (allometric effect).

We investigated 21 stands, growing in six habitat types. The analysis of habitat parameters and phytocoenoses confirmed differences between the habitat types and also within.

Total dry biomass (without roots) differed between 300 and 1500 g/m² and high variation of structural traits and allocation was found. There were several indications of habitat specific structural peculiarities.

A rapidly expanding stand was distinguished by more shoots per tussock, a high share of flowering shoots in relation to total biomass, and longer rhizomes. Taking into account data from literature as well, this seems to be typical for the edges of expanding stands.

In search for allometric effects, the relations between traits and total biomass were investigated. Except for forest stands, the length of nonflowering shoots increased with total biomass, but there were indications of a trade-off between length and density of nonflowering shoots. *C. epigejos* stands in pine forests had very long nonflowering shoots in spite of low total biomass, and low biomass per nonflowering shoot. The length was less variable in flowering than in nonflowering shoots – indicating a higher importance of this trait to the species' fitness.

Where total biomass was low (pine forests, ashes), investment into sexual reproduction was also low, whereas the biomass share of rhizomes was high. With higher total biomass there was no allometric relation in biomass partitioning. Instead a negative relation between the biomass shares of rhizomes (clonal reproduction) and „panicles and culms“ (sexual reproduction) was found, whereas no correlation existed between the biomass shares of leaves and of rhizomes. This indicates a genetic trade-off between the biomass shares of rhizomes and „panicles and culms“.

Altogether, parts of the variability seem to serve the adjustment to contrasting habitats. Important in this context is the option of a long-lived clonal plant to reduce the investment into sexual reproduction to a very low level.

Keywords: Allometry, traits, trade-off, clonal plant, sexual reproduction, fitness

1 EINLEITUNG

Während viele Pflanzenarten in den letzten Jahrzehnten einen starken Rückgang der Verbreitung und Abundanz zeigen, ist bei anderen eine Zunahme zu beobachten. Zu den letztgenannten Arten gehört das Land-Reitgras *Calamagrostis epigejos*, das heute im östlichen Mitteleuropa in vom Menschen geprägten Habitaten eine der häufigsten Pflanzenarten darstellt (REBELE 1996a). In anthropogenen Lebensräumen des westlichen Tschechien erwies sich *C. epigejos* anhand von Abundanz und Deckungswerten als mit Abstand erfolgreichste Art (PRACH et PYSEK 1999). Das Land-Reitgras wird im Waldbau auf Grund der verjüngungshemmenden Wirkung seit langem gefürchtet (HÖPFNER 1966, BRÜNN et al. 1996) und hat sich

seit den siebziger Jahren stark in den Wäldern im Gebiet der neuen Bundesländer ausgebreitet (BERGMANN 1993). Es dringt darüber hinaus auch in Trockenrasen (DORMANN 1997, JAKOB et al. 1996) und Auengrünland (SEDLÁKOVÁ et FIALA 2001) ein und ersetzt diese arten- und strukturreichen Gesellschaften durch oft dichte, monodominante Bestände. Außerdem besiedelt es verschiedenste anthropogene Extremstandorte, an denen andere Pflanzenarten ganz oder weitgehend ausfallen, so z.B. sehr saures Substrat im Braunkohle-Tagebau (HÖPFNER 1966), das schwermetallbelastete Umfeld von Kupferhütten (REBELE et al. 1993) und Rückstandshalden der Kali-Industrie (VAN ELSSEN et SCHMEISKY 1990).

Wodurch kann diese Art auf so unterschiedlichen Standorten so erfolgreich sein? Eine Komponente zur Erklärung dieses Erfolgs besteht offensichtlich in der hocheffizienten vegetativen Ausbreitung und Fortpflanzung der Art durch klonales Wachstum, die in der Regel zu den typischen dichten Herden führen. Die meisten Bestände blühen aber auch und bilden Früchte (LEHMANN et REBELE 1994). Der Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe wechselt jedoch stark, wie auch insgesamt die ausgeprägte Variabilität von Strukturmerkmalen (z.B. Halmhöhe, Anzahl Infloreszenzen pro Fläche) eine hervorstechende Eigenschaft der Art darstellt (REBELE et LEHMANN 2001). Ist diese Variabilität Ausdruck von Anpassungen an unterschiedliche Standorte? Ist dementsprechend eine Standortsabhängigkeit der Struktur und, entscheidender noch, der Biomasseallokation nachweisbar? In Topf- und Beetversuchen wurde an Rameten einer Ausgangspopulation die Abhängigkeit der Ausprägung von Strukturmerkmalen vom Stickstoffgehalt des Bodens, vom Lichtgenuß, sowie teilweise von der Wasserversorgung aufgezeigt (LEHMANN et REBELE 1994). Falls die damit nachgewiesene phänotypische Plastizität nicht von einer hohen genetischen Diversität überlagert wird, sollten umgekehrt bei der Analyse von Freilandbeständen Korrelationen zwischen Standorts- und Strukturmerkmalen nachweisbar sein.

Da bei einer experimentellen Untersuchung unterschiedliche Biomasse-Verteilungen unter unterschiedlichen Nährstoffbedingungen in der Mehrzahl der Fälle eher auf allometrisches Wachstum als auf plastische Reaktionen zurückzuführen waren (MÜLLER et al. 2000), soll in der vorliegenden Arbeit versucht werden, allometrische Zusammenhänge von standortsspezifischen Besonderheiten zu trennen. Dazu muß der Begriff „Größe“ für die Freilandbestände der klonal wachsenden Art *C. epigejos* sinnvoll und handhabbar definiert werden. Weil die flächenmäßige Ausdehnung der „genets“ nur mit hohem Aufwand feststellbar wäre und wohl schon aufgrund der zeitlich begrenzten Integration kein geeignetes Größenmaß darstellt, und die Größe der einzelnen Triebe wiederum durch die Anzahl pro Fläche beeinflusst sein könnte, ist nach unserer Einschätzung die artspezifische Biomasse pro Fläche das geeignetste Größenkriterium. Wir gehen davon aus, daß sich für diesen Parameter ein angenäherter Gleichgewichtszustand in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortsbedingungen einstellt.

Während unter sehr ungünstigen Bedingungen annuelle Arten als Zwergformen wenigstens einige Blüten und Früchte hervorbringen, sind mehrjährige Arten darauf nicht angewiesen und können über Jahre hinweg auf sexuelle Reproduktion verzichten (HARPER 1994). Für klonal wachsende Arten wird ein „trade-off“ zwischen sexueller und vegetativer Reproduktion postuliert (CASWELL 1985, ERIKSSON 1997). Läßt sich eine solche negative Abhängigkeit durch den Vergleich der Biomasseallokation von *C. epigejos*-Beständen an unterschiedlich günstigen Standorten nachweisen? Wenn ja, unter welchen Umständen überwiegt welcher Reproduktionsmechanismus?

Anhand von 21 *C. epigejos*-Beständen von sechs verschiedenen Standortstypen wird im Folgenden den Zusammenhängen zwischen Standortsbedingungen und Bestandesparametern nachgegangen. Als Grundlage dafür werden zunächst die Bestände vegetationskundlich, die Wuchsorte bodenkundlich charakterisiert.

2 DIE ART *CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*

C. epigejos ist eine hochwüchsige, mehrjährige und polykarpe Grasart, die durch klonales Wachstum mit Hilfe von unterirdischen Ausläufern z.T. großflächige Herden bildet. Die Ausläufer können bei einem Durchmesser von wenigen Millimetern eine Länge von über 30 cm erreichen. Diese Relation von Durchmesser und Länge deutet auf ein starkes Überwiegen der Ausbreitungsfunktion gegenüber einer eventuellen

Speicherfunktion hin. Die Ausläufer zersetzen sich nach etwa 3 bis 4 Jahren (JANCZYK-WEGLARSKA 1997). Jeder Trieb kann mehrere Ausläufer und zusätzlich mehrere intravaginale Sprosse hervorbringen, so daß Horste entstehen. Nach Literaturberichten setzen sich diese aus bis zu 10 Trieben zusammen (ULANOVA 1995); nach eigenen Untersuchungen (unveröff.) treten aber bei juvenilen Pflanzen noch wesentlich mehr Triebe pro Horst auf. Die vegetativen Triebe bestehen aus mehreren grundständigen Laubblättern, die Rispen tragenden Halme sind ebenfalls beblättert. Wurzeln entspringen dem distalen Ende der Ausläufer und vor allem der Basis der aufrechten Triebe (FAILLE et FARDJAH 1977). Auch wenn sich die Hauptmasse der Wurzeln in den oberen 20 cm des Bodens konzentriert (FIALA 2001), werden unter günstigen Bedingungen Wurzeltiefen von über zwei Metern erreicht (JANCZYK-WEGLARSKA 1997); die Durchwurzelungstiefe und die Verteilung der Wurzeln hängen in hohem Maß vom Bodenprofil ab (FAILLE et FARDJAH 1977).

3 UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN, UNTERSUCHUNGSGEBIET UND WITTERUNGS-VERLAUF IM UNTERSUCHUNGSJAHR

Bei den 21 in Sachsen-Anhalt und Nordwest-Sachsen untersuchten *Calamagrostis epigejos*-Dominanzbeständen handelte es sich jeweils um mehrere Beispiele für die in der Umgebung von Halle typischen Wuchsorte in Kaolingruben (K1–3), auf Porphyrkuppen (P 1–6), an Salzstellen (Sz 1–3), in Sandtrockenrasen (S 1–3), auf (Kraftwerks-)Aschehalden (A 1, A 2) sowie in Kiefernforsten (Ki 1–4). Die Lage der Bestände zeigt Abb. 1. Wichtige Eigenschaften der Bestände und ihrer Wuchsorte sind in Tab. 1 zusammengestellt: Die Bodentypen waren sehr unterschiedlich. Die Bestände wuchsen überwiegend in ebener

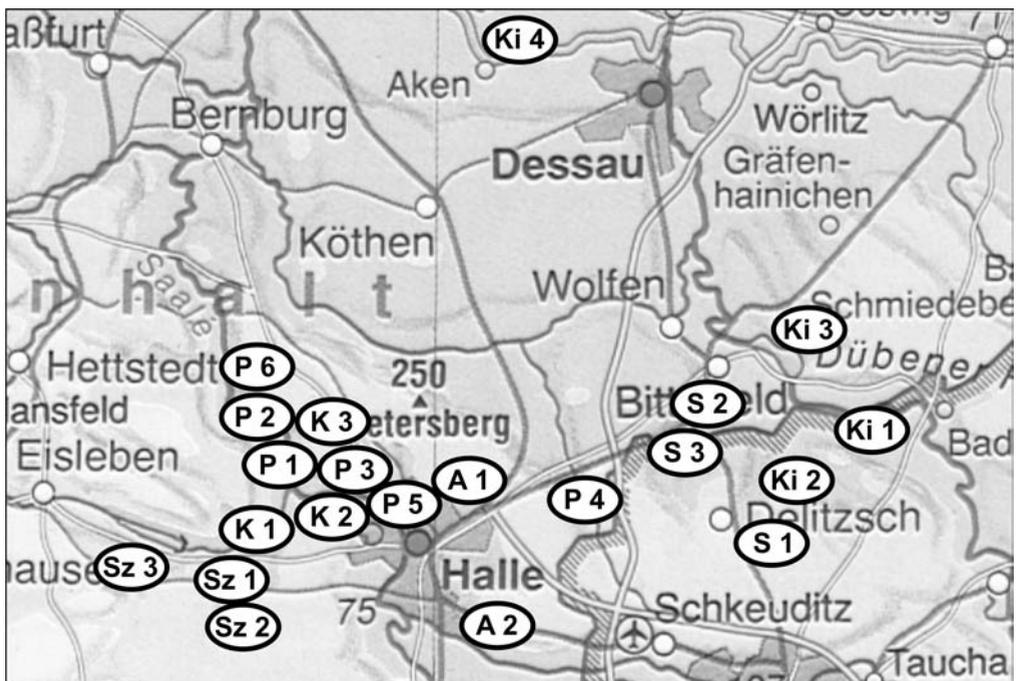


Abb. 1 Übersicht über die Lage der Untersuchungsflächen (Kartengrundlage aus Diercke Weltatlas 1992)

Die direkte Entfernung zwischen Ki 4 (oben) und A 1 (unten) beträgt etwa 40 km.

(K = Kaolingruben, P = Porphyrkuppen, Sz = Salzstellen, S = Sandtrockenrasen, A = Aschehalden, Ki = Kiefernforste)

Tab. 1 Allgemeine Informationen zu den Untersuchungsflächen

Flächenbezeichnung	Ort/Gebiet	Bodentyp ¹⁾	Neigung (% / Exp.	Bestandesgröße (m ²)	Alter (Jahre)	Besonderheiten
K 1	bei Bennstedt	Rohboden (Kaolinton)	-	ca. 80	max. 8	
K 2	bei Lieskau	Rohboden (kaolinhaltiger Sand)	5 / S	10	> 10	
K 3	bei Möderau	Rohboden (kaolinhaltiger Sand)	-	8	? (jung)	expandierender Bestand
P 1	bei Brachwitz	Ranker	-	15	mind. 5	Flachgründigkeit
P 2	bei Gimritz	Ranker	-	ca. 150	mind. 7	Flachgründigkeit
P 3	bei Lettin	Ranker	2 / S	20	mind. 5	Flachgründigkeit
P 4	bei Hohenthurm	Ranker	2 / S	4	?	
P 5	Halle/Kröllwitz	Pararendzina	2 / N	ca. 90	mind. 5	Flachgründigkeit
P 6	bei Mücheln	Ranker	10 / N	6	?	Flachgründigkeit
Sz 1	bei Teutschenthal	Kippboden aus Salzlückständen	-	> 300	? (alt)	Kalirückstand
Sz 2	bei Teutschenthal	Kippboden aus Salzlückständen (Gley)	-	25	mind. 8	Kalirückstand, viel Cl ⁻
Sz 3	bei Röblingen	Seemergel/Tschernosem	-	> 500	? (alt)	viel Cl ⁻
S 1	Beerendorf	Lehmsand-Parabraunerde	-	> 500	? (alt)	
S 2	bei Petersroda	Lockersyrosem	-	> 500	max. 30	
S 3	bei Petersroda	Lockersyrosem	-	> 500	max. 30	zeitweise überstaut
A 1	Halle/Trotha	Pararendzina aus Heizwerkasche	-	ca. 200	max. 18	Aschehalde
A 2	Halle/Osendorf	Kippaschenrendzina mit Bauschutt	-	ca. 400	max. 25	Aschehalde
Ki 1	bei Reibitz	Sand-Braunerde	-	> 300	? (alt)	dichter Kiefernbestand
Ki 2	bei Spröda	Lehmsand-Parabraunerde	-	> 200	? (alt)	lückiger Kiefernbestand
Ki 3	bei Plodda	Sand-Braunerde	-	> 300	? (alt)	dichter Kiefernbestand
Ki 4	zw. Steckby u. Steutz	Sand-Braunerde	-	> 500	? (alt)	dichter Kiefernbestand

1) Bodentypen nach: ALTERMANN et KÜHN (1995), GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (1997), MACHULLA et al. (1995), VEB KARTOGRAPHISCHER DIENST POTSDAM (1978), modifiziert und ergänzt nach den eigenen Geländebeobachtungen.

Lage und sie bedeckten in der Mehrzahl der Fälle über 100 m² Fläche. Die Porphyrkuppenbestände wichen durch meist geringe Größe und einen z.T. leicht geneigten Wuchsort ab. Über das Alter der Bestände sind nur sehr grobe Aussagen möglich. Die letzte Spalte in Tab. 1 weist auf charakteristische Besonderheiten der einzelnen Bestände bzw. ihrer Wuchsorte hin. In keinem Fall gab es Hinweise auf Mahd oder andere direkte anthropogene Eingriffe in den letzten Jahren. K 3, ein kleiner Bestand im Zentrum eines aktiven Spülfeldes, befand sich aber in offensichtlicher Expansion in die infolge der Nutzung vegetationsfreie Umgebung, so daß dieser Fläche ein Sonderstatus zukommt.

Ein Teil der Untersuchungsflächen gehört noch zum kontinental beeinflussten Mitteldeutschen Trockengebiet, der Rest liegt etwas östlich davon. Der Jahresgang des Niederschlags ist durch ein Hauptmaximum im Sommer und ein sekundäres Maximum im Winter gekennzeichnet, die jährlichen Niederschlagssummen liegen zwischen 450 und 550 mm; das langjährige Mittel der Januar-temperatur beträgt 0,3° C, das der Julitemperatur 18,3° C (OELKE 1997).

Das Untersuchungsjahr 1999 zeichnete sich durch hohe Niederschlagssummen im Februar und im Juli sowie durch relativ hohe Temperaturen im Frühjahr und im September aus; der Herbst 1999 war vergleichsweise

trocken (Institut für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Monatsmittel der Station Halle-Seeben, 1965–1994, 1999).

4 METHODEN

Die Wiederholungszahlen pro Standortstyp sind uneinheitlich, da es nicht einfach war, geeignete, standörtlich homogene Flächen ohne Tritt- und Bewirtschaftungseinfluß zu finden. In jedem der 21 untersuchten Bestände wurde eine Dauerfläche (1 m², unterteilt in vier 0,25 m² große Teilflächen) fest verpflockt. Die Dauerflächen wurden in der Regel im Bestandeszentrum platziert. Abweichend davon erfolgte die Anlage im Falle von Gradienten (des Salzgehaltes: Sz-Flächen, der Gründigkeit: P-Flächen) in Randnähe, um die dort extremeren Standortbedingungen zu repräsentieren. Hinweise auf eine räumliche Ausdehnung der Bestände gab es im Gegensatz zu K 3 in diesen Fällen nicht, da die diesjährigen Triebe nicht über den von den vorjährigen Trieben besetzten Bereich vordrangen; zudem grenzte jeweils geschlossene Vegetation an.

4.1 Standorts- und vegetationskundliche Untersuchungen

Die Dauerflächen wurden mit Hilfe von vegetations- und bodenkundlichen Parametern charakterisiert.

Zur vegetationskundlichen Beschreibung der untersuchten *Calamagrostis epigejos*-Bestände wurden insgesamt 64 Vegetationsaufnahmen mit der erweiterten Skala zur Schätzung der Artmächtigkeit nach BARKMANN et al. (1964) angefertigt. Die Flächengröße betrug in Offenlandbeständen 4 m², im Wald 25 m². Für die Vegetationsaufnahme, die die Dauerfläche beinhaltete, wurden die Mediane der Stickstoff-, Licht- und Feuchtezahl (Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. 1991) ermittelt. Die Einordnung in das syntaxonomische System erfolgte im Sinne der deduktiven Klassifikationsmethode anhand der Begleitarten als Derivatgesellschaften (KOPECKY 1986).

Je Dauerfläche wurden im Juli 2000, nach dem Ende der sonstigen Untersuchungen, 20 Bodenproben, zufällig verteilt, mit einem 20 cm langen Probennehmer entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Bestimmung der Bodenart erfolgte durch Siebung sowie mit der Pipettanalyse nach KÖHN (SCHLICHTING et al. 1995). Beim Substrat der Aschehalden erlaubt die Korngrößenbestimmung nach KÖHN aufgrund variabler Substanzdichten nur eine grobe Abschätzung. Der Anteil der feinen Fraktionen dürfte hier geringer sein als von uns berechnet, da die Dichte in der Regel unter den angenommenen 2,65 g/cm³ liegt (ZIKELI et al. 2001). Zur Bestimmung der Lagerungsdichte des Oberbodens wurden Volumenproben bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend gewogen. Zur Abschätzung der mechanischen Gründigkeit wurde ein Bohrstock (Länge: 100 cm, Durchmesser: 2 cm) mit Hilfe eines schweren Plastikhammers in den Boden getrieben.

Der pH-Wert wurde mit einem pH-Meter (Typ 537, WTW) in aqua dest. bestimmt, der Humusgehalt durch nasse Verbrennung nach der LICHTERFELDE-Methode (SCHLICHTING et al. 1995) und der Gehalt des Bodens an Chlorid durch Titration mit Silbernitrat (jeweils Doppelproben). Die Ermittlung des C:N-Verhältnisses erfolgte mit einem C:N-Analysegerät (Vario EL). Für die Aschehalden wurde der Anteil des pedogenen Kohlenstoffs und damit des Humus im Oberboden über das unterschiedliche C:N-Verhältnis im Ober- und im Unterboden abgeschätzt, da die gängigen Methoden keine Differenzierung von Humus und inkohlten organischen Substanzen ermöglichen (HILLER et MEUSER 1998).

Die Schätzung der Kationenaustauschkapazität (KAK) und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) folgt der Bodenkundlichen Kartieranleitung (BAGR 1996). Die KAK wird für gewöhnlich gewichtsbezogen angegeben. Da aber für den Vergleich der Bestände untereinander ein Flächen- bzw. Volumenbezug sinnvoll ist, erfolgte eine entsprechende Umrechnung mit Hilfe der ermittelten Lagerungsdichte. Dabei wurden nur die obersten 20 cm des Bodenprofils berücksichtigt (= KAK_{20cm}), weil sich der überwiegende Teil der Wurzelmasse von *Calamagrostis epigejos* in diesem Bereich konzentriert (FAILLE et FARDJAH 1977, FIALA 2001) und dadurch dessen Eigenschaften für die Kationenversorgung der Bestände ausschlaggebend sein dürften. Für die Angabe der KAK_{20cm} auf der Aschehalde A 1 konnte auf Daten von ZIKELI et al. (2001,

2002) zurückgegriffen werden. Die $KAK_{20\text{cm}}$ der Aschehalde A 2 wurde in Anlehnung an ZIKELI et al. (2001) aus dem Gehalt an organischem Kohlenstoff und der Textur geschätzt.

Als Maß für das zur Verfügung stehende Wasser (nFK) ist, mehr als für die Kationenversorgung, der gesamte effektive Wurzelraum (W_{eff}) relevant, da er von zwar wenigen, aber tiefreichenden Wurzeln erschlossen wird und damit die Wasserversorgung in Trockenperioden bestimmt. Diese aber begrenzt die Menge an transpirierender Biomasse, welche an einem Standort aufgebaut und erhalten werden kann. Der effektive Wurzelraum wurde in Anlehnung an SCHLICHTING et al. (1995) in Abhängigkeit von Bodenart und Lagerungsdichte des Unterbodens und unter Einbeziehung der mechanischen Gründigkeit geschätzt. Dabei wurde angenommen, daß der hohe Anteil von Restkohle auf den Aschehalden (A 1: ca. 9 %, A 2: ca. 25 % C in Form von Kohle) die nFK nicht beeinflusst.

4.2 Untersuchungen zur Bestandesstruktur, Gesamtbiomasse und Biomasseverteilung

Die Ernte für die **Biomassebestimmung** fand im November statt, um den bestandstypischen Biomasseanteil der Ausläufer noch vor unkalkulierbaren Verlusten durch Frosteinwirkung (vgl. BRÜNN 1999), jedoch nach den ausgeprägten - und möglicherweise zeitlich variablen - Verlagerungsprozessen im Sommer und Herbst zu erfassen. Zwar ist im November die oberirdische Biomasse deutlich gegenüber dem Sommer reduziert, nicht aber die der unterirdischen Basis der Triebe, die einen erheblichen Gewichtsanteil ausmacht (BRÜNN 1999).

Als **Strukturparameter** wurden für das Land-Reitgras im August auf drei Teilflächen pro Dauerfläche die Anzahl und die Länge aller Infloreszenz tragenden Triebe und aller vegetativen Triebe bestimmt. Die Länge wurde mit einem Zollstock an den gestreckten Trieben von der Bodenoberfläche bis zur Spitze des längsten Blattes (vegetative Triebe) bzw. zur Rispen Spitze gemessen. Aus der Gesamtzahl der Triebe und der Zahl der Horste pro Teilfläche wurde die durchschnittliche Anzahl der Triebe pro Horst errechnet.

Bei jeder Dauerfläche diente die vierte Teilfläche der Ermittlung der Biomasse von *Calamagrostis epigejos*. Um alle Ausläufer zu erfassen, mußte der Boden mit einem Spaten bis in maximal 30 cm Tiefe ausgestochen werden. Nach dem Ausspielen wurde die mittlere Länge der intakten Ausläufer bestimmt. In die berechnete mittlere Ausläuferlänge gingen auch durch die Entnahme fragmentierte Ausläufer ein, soweit ihre Länge den Mittelwert der intakten Ausläufer übertraf (dies stellt eine gewisse Kompensation dafür dar, daß längere Ausläufer bei der Entnahme mit geringerer Wahrscheinlichkeit intakt blieben). Das Pflanzenmaterial wurde a) in Halme und Rispen als vorrangig der generativen Fortpflanzung dienend, b) in Ausläufer als spezifisches Agens des klonalen Wachstums, c) in vegetative Triebe inklusive unterirdischer Basis (die Laubblätter entspringen in der Regel einige Zentimeter unter der Erdoberfläche) und Triebknospen und d) die Spreiten der halmständigen Blätter unterteilt; die letzten 2 Fraktionen werden als „Blätter“ zusammengefaßt. Alle 4 Fraktionen zusammen werden im Folgenden als **Gesamtbiomasse** bezeichnet. Nicht einbezogen wurden also die lose Streu und auch nicht die Wurzeln, weil je nach Bodentyp und Wurzelprofil ein unterschiedlich großer Anteil der Gesamtwurzelmasse erfaßt wurde. Nach der Trocknung bei 80° C erfolgte die Bestimmung der Biomasse durch Auswiegen.

Die **statistische Auswertung** wurde folgendermaßen vorgenommen:

Die Signifikanz der Unterschiede der Standortstypen in Gesamtbiomasse, Biomasseverteilung und Strukturmerkmalen (Abb. 2) wurde aufgrund der für einen Normalitätstest zu geringen Stichprobenzahlen mit dem nichtparametrischen KRUSKAL-WALLIS (H)-Test überprüft; es schloß sich ein paarweiser Vergleich nach DUNN an (beides mit GraphPad Prism 3.0).

Die Korrelationsanalysen (Tab. 6) sowie die linearen Regressionsanalysen wurden mit dem Programm StatView (Abacus Concepts, 1992) durchgeführt, der Vergleich von Steigungen mit GraphPad Prism 3 (GraphPad Software 1999); die Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) erfolgte varianzanalytisch (ANOVA). Nichtlineare Regressionslinien wurden mit Microsoft Excel 98 erstellt. K 3 blieb auf Grund des Sonderstatus aus allen Korrelations- und Regressionsberechnungen ausgeschlossen.

Für die Korrelationsanalyse wurden die Biomassedaten logarithmisch transformiert, die Zähldaten Quadratwurzel-transformiert, die Verhältnisdaten arcsin-winkeltransformiert (SOKAL et ROHLF 1998).

5 ERGEBNISSE

5.1 Vegetations- und standortkundliche Untersuchungen

Pflanzensoziologisch wurden die Bestände 13 Derivatgesellschaften und fünf Klassen bzw. deren Übergängen zugeordnet (Tab. 2). Das Land-Reitgras dominierte auf allen Dauerflächen die Krautschicht mit geschätzten Deckungen der grünen Biomasse zwischen 2b (15 bis 24 %) und 5b (88 bis 100 %) (Tab. 3). Nur die vier *Calamagrostis epigejos*-Bestände in den Forsten waren einer starken Konkurrenz durch andere Pflanzen, nämlich die Kiefern, ausgesetzt. Im artenreichsten Bestand (S 1) kamen 26 Pflanzenarten vor, während die artenärmsten Bestände (P 2, Ki 1) nur 8 Pflanzenarten aufwiesen. Arten der Molinio-Arrhenatheretea und der Artemisietea vulgaris waren auf fast allen Flächen vertreten. Salzrasenarten (*Puccinellia distans*, *Juncus gerardii*, *Glaux maritima*) wuchsen auf zwei Flächen (K 3 bzw. Sz 1). Auf den Salzstellenflächen Sz 2 und 3 waren salzzeigende Arten nicht in den *C. epigejos*-Beständen selbst, aber in deren unmittelbarer Umgebung zu finden.

Die vegetationskundliche Ordnung der untersuchten *C. epigejos*-Bestände weicht vor allem bei den Porphyrukuppenbeständen von der Gruppierung zu Standortstypen ab. Die Derivatgesellschaften sind allerdings z.T. aufgrund der geringen Zahl und Deckung der Begleitarten (bedingt durch die Dominanz von *C. epigejos*) nur schwach charakterisiert und haben somit auch nur provisorischen Charakter.

Im Folgenden werden die Bestände und die Standortstypen anhand der standortkundlichen Untersuchungen (Tab. 4) und der Zeigerwertanalysen (Tab. 3) zusammenfassend charakterisiert:

Die drei Bestände der **Kaolingruben** unterschieden sich deutlich in der Bodenart voneinander, ebenso im pH-Wert, der nFK und der $KAK_{20\text{cm}}$ (es handelt sich um Spülrückstände bzw. nach dem Abbau der Tone anstehendes Substrat). Allen gemeinsam war hingegen das Fehlen von Humus.

Bei den 6 untersuchten **Porphyrukuppen**beständen variierte die Bodenart von reinem Sand bis hin zu reinem Ton. P 3 zeichnete sich durch einen hohen Grusanteil aus. P 5 hob sich durch hohe pH-Werte, welche auf eine Lößüberdeckung hinweisen, von den restlichen Beständen ab. Die $KAK_{20\text{cm}}$ und die nFK differierten entsprechend der unterschiedlichen Bodenarten deutlich. Auch die Zeigerwerte der Begleitvegetation weisen mit einer recht großen Spanne der N- und F-Zahlen auf wenig einheitliche Standortbedingungen hin. Gemeinsam aber war den Flächen ein hoher bis sehr hoher Humusgehalt im Oberboden und eine geringe Gründigkeit.

Die Bodenart des Oberbodens der drei **Salzflächen** wechselte zwischen schluffigem Sand und schluffigem Lehm. Die Gründigkeit betrug jeweils rund 70 cm, die pH-Werte lagen im schwach bis mittel alkalischen Bereich. Die Chlorid-Gehalte waren in zwei Fällen sehr deutlich erhöht, bei Sz 1 (Kippboden aus Salzrückständen) aber kaum höher als bei den anderen Flächen. Bei den Zeigerwerten unterschied sich Sz 3 von den anderen Flächen durch eine höhere N-Zahl. Alle drei Flächen zeichneten sich durch eine relativ hohe $KAK_{20\text{cm}}$ und eine gute Wasserversorgung aus.

Bei den **Sandtrockenrasen** dominierten im Oberboden Grob- und Mittelsande. Alle drei Flächen wurden als mittel humos eingestuft. Die Bodenreaktion reichte von mittel sauer bis mittel alkalisch, Letzteres vermutlich durch Kalkung verursacht. Die $KAK_{20\text{cm}}$ war bei den Sandtrockenrasen gering, die nFK aufgrund der günstigeren Bodenart der tieferen Schichten mittelmäßig. Die Fläche S 3 zeichnete sich durch die Lage in einer verdichteten Mulde aus; sie konnte vor allem im Winter monatelang durch Regenwasser überstaut sein. Bei den Zeigerwerten hob sich S 1 durch eine höhere N-Zahl von den anderen Flächen ab.

Bei den beiden Dauerflächen auf **Aschehalden** war die Bodenart Sand, der pH-Wert war als schwach alkalisch einzustufen. Bezüglich der nFK rangierten die Flächen im mittleren Bereich, wobei A 1, vor allem durch die Bodenart bedingt, günstiger abschnitt. Die sehr hohe $KAK_{20\text{cm}}$ der Fläche A 2 ist auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff zurückzuführen. Bei den Zeigerwerten fallen beide Flächen durch niedrige Stickstoff-Zahlen auf.

Die Bodenart der vier **Kiefernforstbestände** war Sand. In drei Fällen dominierten im Oberboden Grob- und Mittelsande. Die $KAK_{20\text{cm}}$ und die nFK waren durchweg gering, wobei sich aber Ki 2 aufgrund des Schluffanteils durch jeweils höhere Werte und zugleich durch einen relativ hohen Humusgehalt auszeichnete.

Tab. 2 Übersicht über die Vegetation der untersuchten Bestände

Derivatgesellschaft	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Anzahl der Aufnahmen	13	4	2	4	6	10	4	5	3	4	2	2	6
Untersuchungsflächen	Ki 1, 2,3	Ki 4	S 2	A 2	S 1,3	P 5, K 1,2	Sz 3	P 3,6, Sz 2	P 1,2	A 1	P 4	Sz 1	K 3
Baumschicht													
<i>Pinus sylvestris</i>	V	4											
Krautschicht													
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	4	2	4	V	V	4	V	3	4	2	2	V
Kl. Quercio-Fagetea													
<i>Rubus fruticosus</i> s.l. (B)	V					III							
<i>Avenella flexuosa</i> (B)	V	2							1				
<i>Quercus robur</i>	III	3						II					
Kl. Sedo-Scleranthetea													
<i>Rumex acetosella</i> (B)				1	IV			II					
<i>Trifolium campestre</i>				1	V								
<i>Trifolium arvense</i>				2	III								
<i>Asparagus officinalis</i> (B)					1			II					
<i>Echium vulgare</i>					1	II		I					
<i>Helichrysum arenarium</i>				2	2								
<i>Cerastium glutinosum</i>				1	I								
Kl. Molinio-Arrhenatheretea													
<i>Brachythecium rutabulum</i>	IV	4	2	4		I	4	II			2	1	III
<i>Achillea millefolium</i>	I			3		III	II	IV					
<i>Poa pratensis</i>	V					IV	II		2				
<i>Agrostis capillaris</i> (B)	II	4				I	I	III	1		2		
<i>Arrhenatherum elatius</i>		2					IV	3	II			2	
<i>Festuca rubra</i>							III	II			2	2	
<i>Holcus lanatus</i>		3				I	I	II					I
<i>Dactylis glomerata</i>						I	II	1					
<i>Lotus corniculatus</i>				1			II						
<i>Cerastium holosteoides</i>			2			I							
<i>Galium mollugo</i>						II		I					
Kl. Festuco-Brometea													
<i>Poa angustifolia</i> (B)			1		I	III		V	2			1	
<i>Euphorbia cyparissias</i>				4				III	3				
<i>Galium verum</i>		2					II	V					
<i>Festuca trachyphylla</i> (B)								II	1	4			
<i>Festuca rupicola</i>						III		III					
<i>Vicia angustifolia</i> (B)					I	I	II	II					
<i>Medicago lupulina</i>				1			II						
<i>Koeleria macrantha</i>								I	1				
Kl. Artemisietea vulgaris													
<i>Galium aparine</i>		4			I	II	4				2		
<i>Daucus carota</i>					3	III				3		1	I
<i>Erigeron acris</i>					4					4			I
<i>Cirsium arvense</i> (B)					1	I		4					I
<i>Picris hieracioides</i>					3					1			II
<i>Epilobium adnatum</i>							2					1	II
<i>Solidago canadensis</i>			1			II		I					
<i>Geranium robertianum</i>		3											
<i>Impatiens parviflora</i>		3											
<i>Silene pratensis</i>					I			I					
<i>Tanacetum vulgare</i>										1			I
<i>Urtica dioica</i>					I		1						
Kl. Epilobietea angustifolii													
<i>Epilobium angustifolium</i>						I					2		
Kl. Asteretea tripolii													
<i>Puccinellia distans</i>													V
<i>Juncus gerardi</i>												2	
<i>Glaux maritima</i>												1	
Sonstige													
<i>Hypericum perforatum</i>	I				V			I	3		1		
<i>Plagiomnium affine</i>	IV	4											
<i>Cirriophyllum piliferum</i>			2		IV				2				
Derivatgesellschaft													
<i>Scleropodium purum</i>	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Phragmites australis</i>	II	4						1	I			2	III
<i>Poa compressa</i>			2	2	III								
<i>Tussilago farfara</i>						II				1			II
<i>Betula pendula</i>	I					I					2		
<i>Hieracium pilosella</i>			2	2	I								
<i>Senecio vernalis</i>			2	1									

Derivatgesellschaften (Dg): 1 = *Pinus sylvestris*-Forstgesellschaft Ausbildung I, 2 = *P. sylvestris*-Forstgesellschaft Ausbildung II, 3 = *C. epig.*-[Festuco-Sedalia]-Dg, 4 = *C. epig.*-[Dauco-Melilotion/Sedo-Scleranthetea]-Dg, 5 = *C. epig.*-[Festuco-Sedalia/Arrhenatherion elatioris]-Dg, 6 = *C. epig.*-[Arrhenatherion elatioris]-Dg, 7 = *C. epig.*-[Arrhenatherion elatioris/Dauco-Melilotion]-Dg, 8 = *C. epig.*-[Festuco-Brometea-Arrhenatherion elatioris]-Dg, 9 = *C. epig.*-[Festuco-Brometea]-Dg, 10 = *C. epig.*-[Gypsophilo perfoliatae-Diplotaxietum tenuifoliae]-Dg, 11 = *C. epig.*-[Arrhenatherion elatioris/Senecioni sylvatici-Epilobietum angustifolii]-Dg, 12 = *C. epig.*-[Arrhenatherion elatioris/Juncetum gerardii]-Dg, 13 = *C. epig.*-[Spergulario-Puccinellietum distantis]-Dg

Bei 5 und mehr Aufnahmen Stetigkeitsklassen (römische Zahlen), ansonsten absolute Stetigkeiten.

In der Tabelle sind alle Arten aufgeführt, die in mindestens 2 Spalten vorkommen.

Die pflanzensoziologische Zuordnung folgt OBERDORFER (1994); (B) kennzeichnet Begleitarten, die entsprechend ihres Vorkommensschwerpunktes (selbe Quelle) eingeordnet wurden.

Tab. 3 Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen der Dauerflächen (incl. der unmittelbaren Umgebung): geschätzte Deckung der gesamten Krautschicht und von *Calamagrostis epigejos*; Median ausgewählter Zeigerwerte (Stickstoff-, Licht- und Feuchtezahl)

Flächenbezeichnung	K 1	K 2	K 3	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
Deckung der Krautschicht [%]	75	95	40	85	55	90	50	95	100
Deckung <i>Calamagrostis epigejos</i> [%]*	38-49	50-62	25-37	63-74	50-62	63-74	38-49	63-74	88-100
ELLENBERG-N-Zahl	6	6	5	3	3	3	6	6	3
ELLENBERG-L-Zahl	7	7	7.5	7	7	7	7	7	6
ELLENBERG-F-Zahl	4.5	5	5	3	4.5	4	5	5.5	3.5

Flächenbezeichnung	Sz 1	Sz 2	Sz 3	S 1	S 2	S 3	A 1	A 2	Ki 1	Ki 2	Ki 3	Ki 4
Deckung der Krautschicht [%]	45	85	95	100	30	30	30	25	80	95	90	100
Deckung <i>Calamagrostis epigejos</i> [%]*	38-49	38-49	88-100	75-87	25-37	25-37	15-24	15-24	75-87	75-87	63-74	75-87
ELLENBERG-N-Zahl	5	4.5	7	6	3	4	3.5	3	6	5	6	6
ELLENBERG-L-Zahl	7	8	7	7	8	7	8	8	6	6.5	6	7
ELLENBERG-F-Zahl	4.5	4	4.5	4	4	4	4	4	5	5	5	5

*Spanne der Schätzklassen der erweiterten BRAUN-BLANQUET-Skala (BARKMANN et al. 1964)

Tab. 4 Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen
(nFK: nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, KAK_{20cm}: Kationenaustauschkapazität in den oberen 20 cm des Bodens, gmS: überwiegend Grob- und Mittelsand)

Flächenbezeichnung	Bodenart (Oberboden)	Grob-boden [%]	Gründig-keit [dm]	pH-Wert	Humus-gehalt [%]	nFK [l/m ²]	KAK _{20cm} [cmol/kg]	Chlorid [mg/100g]
K 1	schluffiger Ton	0	5.0	7.2	< 0.9	55	90	3.2
K 2	lehmgiger Sand (gmS)	2	6.0	4.2	< 0.9	114	11	2.1
K 3	sandiger Schluff	0	> 9,5	5.1	< 0.9	208	16	2.3
P 1	schluffiger Sand	2	2.5	4.7	18.1	92	30	1.2
P 2	sandiger Lehm	7	2.5	4.6	11.0	88	32	1.6
P 3	reiner Sand (gmS)	40	3.0	4.7	7.6	41	9	1.8
P 4	sandiger Schluff	11	4.3	4.3	8.4	163	20	2.0
P 5	schluffiger Sand	8	2.5	7.5	12.3	88	31	1.9
P 6	reiner Ton	10	2.2	5.0	5.4	78	67	1.7
Sz 1	schluffiger Sand	14	6.7	7.8	3.2	146	25	3.7
Sz 2	lehmgiger Sand	7	7.4	8.1	6.7	124	39	75.1
Sz 3	schluffiger Lehm	1	7.0	7.8	3.4	171	58	162.0
S 1	reiner Sand (gmS)	14	7.8	6.7	2.5	97	11	1.4
S 2	reiner Sand (gmS)	17	4.3	8.3	2.4	64	13	1.7
S 3	lehmgiger Sand (gmS)	10	6.4	5.2	2.0	132	16	2.1
A 1	lehmgiger Sand	6	6.0	7.5	1.6	145	33	2.8
A 2	reiner Sand (gmS)	20	5.8	7.7	4.4	67	100	2.3
Ki 1	reiner Sand (gmS)	8	8.3	4.8	1.7	58	5	1.5
Ki 2	lehmgiger Sand (gmS)	8	3.4	4.9	7.8	89	21	2.1
Ki 3	reiner Sand	2	7.6	6.0	2.5	69	14	2.1
Ki 4	reiner Sand (gmS)	0	7.5	4.9	1.2	64	5	1.8

Die Deckung der Kiefern wurde für drei Flächen auf 75 bis 80 % geschätzt, für Ki 2 aber nur auf 25 %. Im Vergleich zu den anderen Flächen sind die Lichtzahlen der Kiefernforstbestände etwas niedriger.

5.2 Gesamtbiomasse, Biomasseverteilung und Bestandesstruktur unter Bezug auf die Standortstypen (Abb. 2)

Die von *Calamagrostis epigejos* produzierte **Gesamtbiomasse** unterschied sich deutlich für die verschiedenen Standortstypen. Beim paarweisen Vergleich war der Unterschied zwischen Porphyrkuppen- und Kiefernforstbeständen signifikant. In Abb. 2 wurden die Standortstypen nach der Höhe der Gesamtbiomasse angeordnet. K 3 ist aufgrund der Sonderstellung als expandierender Bestand getrennt von den übrigen Beständen der Kaolingruben dargestellt. Während K 1 und K 2 die höchste Gesamtbiomasse aller Standortstypen erbrachten, liegt K 3 unter allen Mittelwerten und ist daher in Abb. 2 ganz rechts zu finden.

Der **Biomasseanteil der Ausläufer** wies marginal signifikante Unterschiede ($0,05 < p = 0,1$) zwischen den Standorten auf. Auch wenn sich kein durchgängiger Trend in Abhängigkeit von der mittleren Gesamtbiomasse zeigt, wurden im allgemeinen die höchsten Werte bei den geringsten Gesamtbiosmassen erreicht. Davon abweichend war der Biomasseanteil der Ausläufer bei K 3 sehr niedrig; dies ist auf das geringe Bestandesalter und die damit kleine Zahl an Ausläufern aus den Vorjahren zurückzuführen.

Beim **Biomasseanteil der Rispen und Halme** ergab sich insgesamt ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, allerdings ohne ein beim paarweisen Vergleich abzusicherndes Ergebnis. Die Asche- und die Kiefernforstflächen, also die Standortgruppen mit der niedrigsten Gesamtbiomasse, setzen sich jedoch sehr deutlich durch einen geringen Biomasseanteil der Rispen und Halme von den übrigen Beständen ab. Im Gegensatz dazu wies K 3 einen sehr hohen Biomasseanteil dieser Fraktion auf.

Bei der **Gesamtzahl der Triebe pro Quadratmeter** konnte kein statistischer Nachweis von Unterschieden zwischen den Standortgruppen erbracht werden. Die höchsten Werte wiesen die Salzflächen auf. Die Triebzahl von K 3 war zwar niedrig, fiel aber kaum gegenüber den anderen Kaolinflächen ab.

Deutlichere Unterschiede zwischen den Flächengruppen (marginal signifikant: $0,05 < p = 0,1$) zeigten sich beim **Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe an der Gesamttriebzahl**. So lag dieser trotz ähnlicher Gesamtbiosmassen bei den Sandtrockenrasen viel höher als bei den Salzflächen. Beide Ascheflächen zeichneten sich durch einen sehr geringen Anteil Infloreszenz tragender Triebe aus. Im Kiefernforst war der Anteil ähnlich wie bei den Salzflächen. K 3 fiel wiederum durch einen hohen Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe auf.

Bei der **Anzahl der Triebe pro Horst** wurde der mit Abstand höchste Wert (3,3) für K 3 ermittelt, während die anderen Standortstypen im Schnitt bei 1,6 lagen und sich wenig voneinander abhoben. Die **Länge der vegetativen Triebe** differierte hingegen beträchtlich zwischen den verschiedenen Gruppen. Der Unterschied in der mittleren Länge der vegetativen Triebe war zwischen den Ascheflächen (45 cm) und den Kiefernforsten (95 cm) signifikant. Auf der Fläche K 3 waren die vegetativen Triebe kaum länger als auf den Ascheflächen. Die **Länge der Infloreszenz tragenden Triebe** variierte nur schwach in Abhängigkeit vom Flächentyp. Im Kiefernforst waren die Triebe mit 124 cm wenig länger, auf den Ascheflächen und auf K 3 mit Mittelwerten von 95 bis 102 cm nur wenig kürzer als auf den restlichen Flächen. Bei der **Ausläuferlänge** ergab sich insgesamt ein marginal signifikanter Unterschied. Deutlich am längsten waren die Ausläufer von *C. epigejos* auf der Fläche K 3, im Durchschnitt am kürzesten hingegen auf den anderen beiden Kaolinflächen. Die Porphyrkuppenflächen hoben sich durch etwas längere Ausläufer von den restlichen Standortstypen ab.

5.3 Bestandesstruktur, Gesamtbiomasse und Biomasseverteilung bezogen auf die Einzelflächen

Da die standorts- und vegetationskundlichen Untersuchungen zeigten, daß die Standortgruppen in sich nicht einheitlich sind, werden im Folgenden Parameter, bei denen sich eine größere Variabilität abzeichnete, unter Bezug auf die Einzelflächen dargestellt (Werte s. Tab. 5).

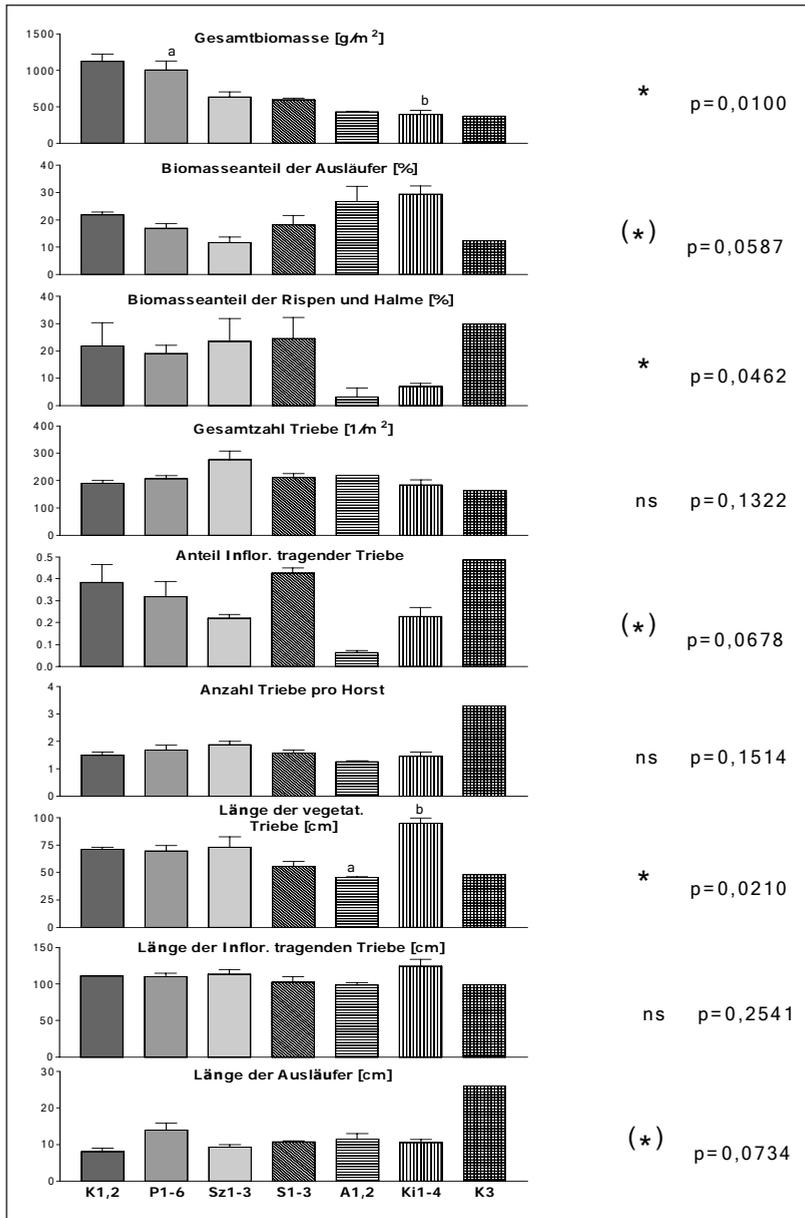


Abb. 2 Mittelwerte (plus Standardfehler) der Struktur- und Allokationsparameter der *Calamagrostis epigejos*-Standortstypen, angeordnet nach fallender Gesamtbiomasse. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Mittelwerte (H-Test mit anschließendem multiplen Vergleich nach DUNN). Rechts daneben die Irrtumswahrscheinlichkeiten des H-Tests; Symbole: *: $p = 0,05$; (*): $0,05 < p = 0,1$; ns = nicht signifikant. Zur Erläuterung der Abkürzungen s. Legende zu Abb. 1.

Tab. 5 Wertetabelle zu Strukturparametern, Gesamtbiomasse und Biomasseverteilung von *Calamagrostis epigejos* (x = Mittelwert, rVk = relativer Variationskoeffizient)

Flächenbezeichnung	K 1	K 2	K 3	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	Sz 1	Sz 2	Sz 3
Anzahl Triebe mit Infloreszenz [1/m ²]	61	83	79	88	60	56	40	28	121	59	81	45
Anzahl veget. Triebe [1/m ²]	140	97	87	111	128	160	217	152	83	240	236	167
Anteil Infloreszenz tragender Triebe	0.30	0.46	0.48	0.44	0.32	0.26	0.16	0.16	0.59	0.20	0.26	0.21
Gesamtzahl Triebe [1/m ²]	201	180	165	199	188	216	257	180	204	299	317	212
Anzahl Triebe pro Horst	1.6	1.4	3.3	1.4	1.2	1.7	2.2	1.3	2.0	2.5	2.3	1.6
Länge der Inflor. trag. Triebe [cm]	111	111	99	95	108	103	121	121	114	103	112	125
Länge der veget. Triebe [cm]	69	73	48	58	71	62	65	93	68	61	66	92
Länge der Ausläufer [cm]	9	7	26	20	13	10	19	12	10	8	10	10
Gesamtbiomasse [g/m ²]	1023	1223	373	685	1222	768	1496	856	1003	506	700	710
Biomasse Rispen + Halme [%]	14	30	30	26	10	25	20	9	24	19	12	40
Biomasse Ausläufer [%]	21	23	12	14	23	11	17	21	15	10	16	9
Biomasse d. vegetativen Triebe [%]	56.1	29.5	33.4	48.2	58.5	38.8	53	64.9	33.8	59.2	63.3	33.5
Biomasse d. Blätter [%] (vegetative Triebe + Spreiten d. Halmblätter)	66	47	58	60	67	65	63	69	61	71	73	51

Flächenbezeichnung	S 1	S 2	S 3	A 1	A 2	Ki 1	Ki 2	Ki 3	Ki 4	x	rVk [%]
Anzahl Triebe mit Infloreszenz [1/m ²]	75	109	87	12	15	49	28	28	60	60	10.7
Anzahl veget. Triebe [1/m ²]	111	120	139	208	207	160	187	100	120	151	7.1
Anteil Infloreszenz tragender Triebe	0.40	0.48	0.38	0.05	0.07	0.24	0.13	0.22	0.33	0.29	11.0
Gesamtzahl Triebe [1/m ²]	185	229	225	220	221	209	215	128	180	211	4.3
Anzahl Triebe pro Horst	1.4	1.9	1.5	1.3	1.2	1.3	1.8	1.3	1.2	1.7	6.9
Länge der Inflor. trag. Triebe [cm]	101	91	116	102	95	112	151	110	124	111	2.6
Länge der veget. Triebe [cm]	64	51	52	45	46	84	96	107	92	70	5.6
Länge der Ausläufer [cm]	11	11	10	13	10	10	10	13	9	12	8.4
Gesamtbiomasse [g/m ²]	604	550	633	439	418	324	555	385	330	705	10.1
Biomasse Rispen + Halme [%]	21	14	40	0	7	10	4	7	7	17	14.1
Biomasse Ausläufer [%]	25	17	13	32	21	36	21	29	32	20	8.4
Biomasse d. vegetativen Triebe [%]	38.1	57.3	21.1	67.7	67.8	47.6	72.5	55.5	54.4	50	6.3
Biomasse d. Blätter [%] (vegetative Triebe + Spreiten d. Halmblätter)	55	69	48	68	72	55	75	64	61	63	2.8

In Abb. 3 wird die **Gesamtbiomasse** beispielhaft zwei wichtigen Standortparametern gegenübergestellt, der nFK als grobes Maß für die Wasserversorgung und der KAK_{20cm} als Hinweis auf die Kationenverfügbarkeit. In beiden Fällen ist bei Einbeziehung aller Daten kein Trend feststellbar. Es fällt aber auf, daß die Porphyrkuppen- und Kaolinflächen (außer K 3) sowohl bei etwa gleicher nFK als auch bei etwa gleicher KAK_{20cm} jeweils deutlich höhere Gesamtbiosmassen aufwiesen als die Flächen der anderen Standortstypen. Bei alleiniger Berücksichtigung dieser acht Flächen ergibt sich ein signifikant steigender Zusammenhang von Gesamtbiosmasse und nFK ($R^2_{\text{linear}} = 0,531$, $p = 0,0402$).

Bei sehr geringer Gesamtbiosmasse (unterhalb etwa 500 g/m²) fanden sich herausragend hohe **Biomasseanteile der Ausläufer** (Abb. 4; K 3 bleibt aus der Betrachtung ausgeschlossen), während die Ausläufer bei höherer Gesamtbiosmasse einen relativ konstanten Anteil von rund 20 % (15 bis 23 %) ausmachten. Nach Ausschluß der vier in der Abbildung markierten Wertepaare ist für die restlichen Flächen kein Trend nachweisbar ($R^2_{\text{linear}} = 0,065$, $p = 0,3416$).

Zwischen dem **Biomasseanteil der Blätter** (= vegetative Triebe plus Halmblätter) und der Gesamtbiosmasse ist kein Zusammenhang festzustellen (ohne Abb., $R^2_{\text{linear}} = 0,024$, $p = 0,5138$).

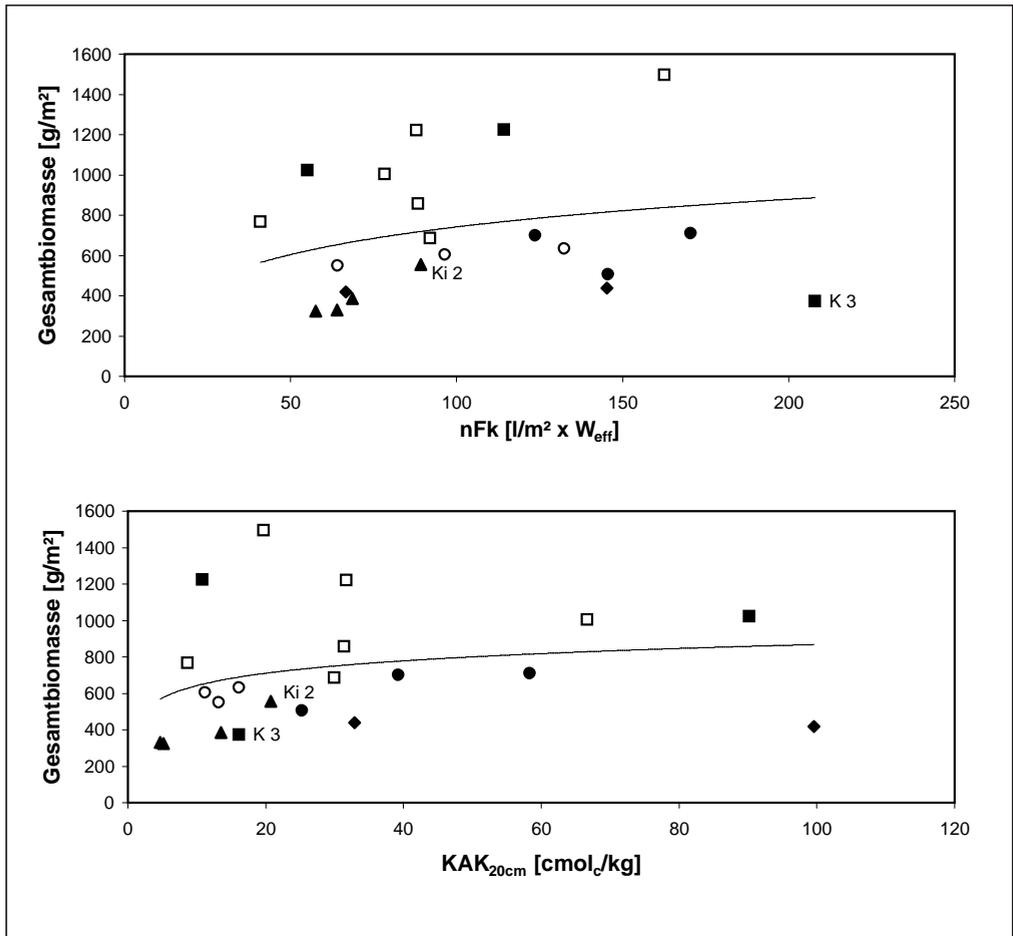


Abb. 3 Zusammenhang zwischen der Gesamtbiomasse und der nFK im effektiven Wurzelraum (W_{eff}) bzw. der $KAK_{20\text{cm}}$

$R^2_{\text{logarithmisch}}$ oben: = 0,0586; unten: = 0,0679

(■ Kaolingrube, □ Porphyrkuppe, ● Salzstelle, ○ Sandtrockenrasen, ◆ Aschehalde, ▲ Kiefernforst)

Die Auftragung der drei Biomassefraktionen gegeneinander zeigt, daß mit zunehmendem Anteil der „Rispen und Halme“ der Anteil der Blätter und der der Ausläufer in gleichem Maße abnehmen (Abb. 5 oben). Das bedeutet zugleich, daß der Biomasseanteil der Ausläufer allein durch den Biomasseanteil der „Rispen und Halme“ erklärt wird und mit dem der Blätter kein Zusammenhang besteht (Abb. 5 unten).

Gemessen am relativen Variationskoeffizienten (rV_k , Tab. 5) variiert der Biomasseanteil der Blätter (2,8 %) viel weniger als der der Halme und Rispen (14,1 %), der Ausläufer (8,4 %) und der vegetativen Triebe (6,3 %). Die geringe Variabilität des Biomasseanteils der Blätter insgesamt kommt durch einen engen, negativen Zusammenhang (ohne Abb., $R^2_{\text{linear}} = 0,7912$) zwischen dem Biomasseanteil der Halmbblätter und dem der vegetativen Triebe zustande.

Die Gegenüberstellung **der Länge der vegetativen Triebe und der Gesamtbiomasse** zeigt eine Sonderstellung der Kiefernforstflächen (Abb. 6). Werden die Kiefernforstflächen nicht einbezogen, ist ein signifikant

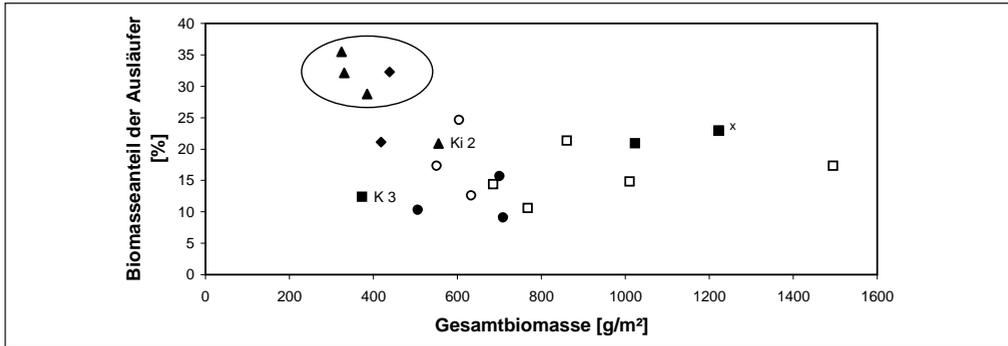


Abb. 4 Biomasseanteil der Ausläufer in Abhängigkeit von der Gesamtbiomasse

Die vier höchsten Werte (eingekreist) fanden sich bei sehr geringer Gesamtbiomasse. Für die restlichen Werte ist kein Trend nachweisbar: $p = 0,3416$, $R^2 = 0,065$.

x: ein K- und ein P-Wert überlagern sich. Legende wie in Abb. 3.

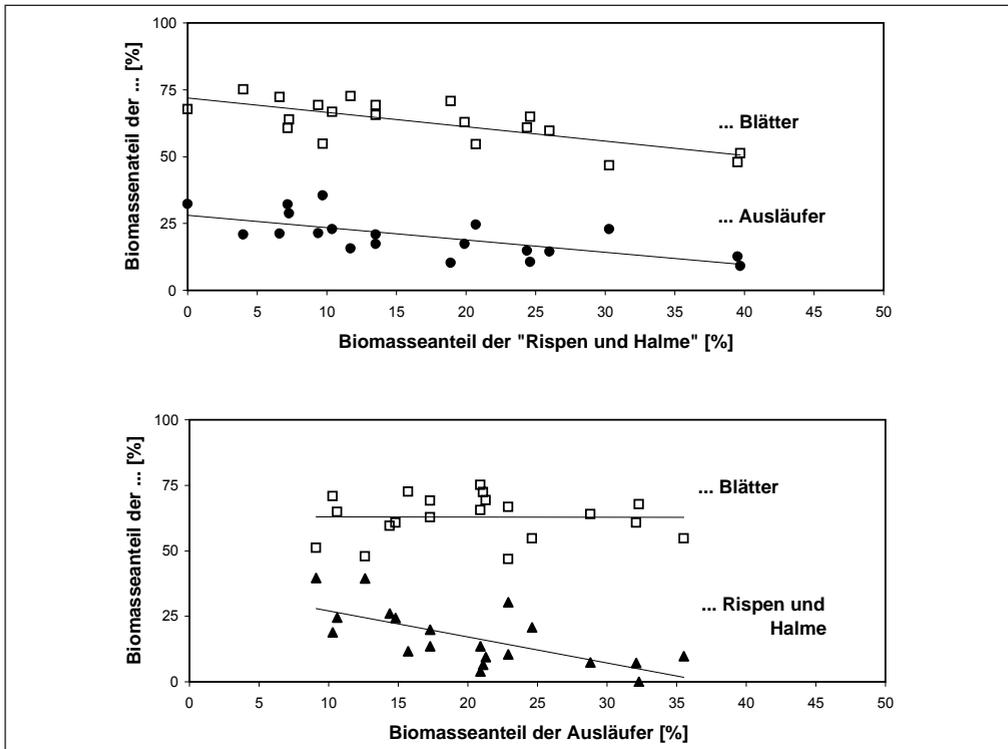


Abb. 5 Verteilung der Biomasse auf drei Fraktionen (alle Flächen außer K 3)

Oben: in Abhängigkeit vom Biomasseanteil der „Rispen und Halme“ - Biomasseanteil der Blätter: $p = 0,0002$ (***) , $R^2 = 0,5364$; Biomasseanteil der Ausläufer: $p = 0,0011$ (**), $R^2 = 0,4549$; Irrtumswahrscheinlichkeit für die Annahme verschiedener Steigungen: $p = 0,63$ (ns).

Unten: in Abhängigkeit vom Biomasseanteil der Ausläufer - Biomasseanteil der Blätter: $p = 0,9708$ (ns), $R^2 < 0,0001$; Biomasseanteil der Rispen und Halme: $p = 0,0011$ (**), $R^2 = 0,4549$; Irrtumswahrscheinlichkeit für die Annahme verschiedener Steigungen: $p = 0,01$ (**).

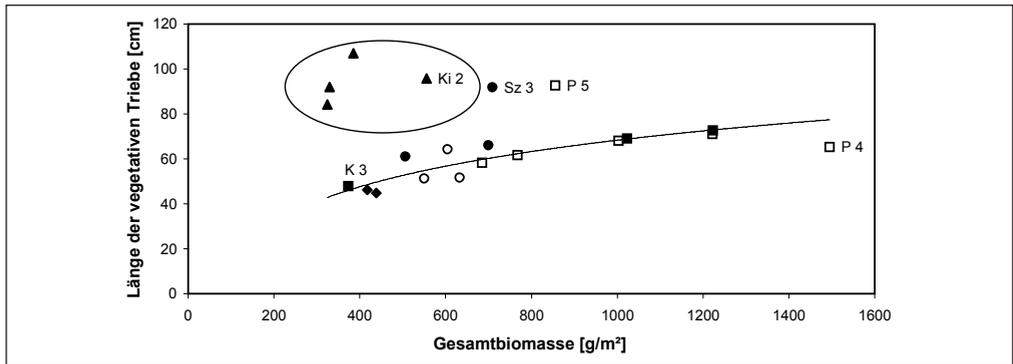


Abb. 6 Abhängigkeit der Länge der vegetativen Triebe von der Gesamtbiomasse

$R^2_{\text{logarithmisch}}$ (unter Ausschluß aller Ki)=0,2902;

$R^2_{\text{logarithmisch}}$ (unter Ausschluß aller Ki und von Sz 3, P 4, P 5) = 0,7686. Legende wie in Abb. 3.

steigender Trend festzustellen. Unter Ausschluß der drei weiteren Bestände mit Außenseiterposition (Sz 3, P 5, P 4) ergibt sich eine sehr enge Beziehung. Die drei Offenlandbestände, die beim Zusammenhang zwischen der Länge der vegetativen Triebe und der Gesamtbiomasse abweichen, haben bei der Triebdichte eine gegenläufige Position inne: P 5 und Sz 3 mit den im Verhältnis zur Gesamtbiomasse längsten vegetativen Trieben zeichnen sich jeweils durch die geringste Gesamtzahl der Triebe je Fläche in ihrer Standortgruppe aus. Umgekehrt ist P 4, bei geringer Trieblänge in Relation zur Gesamtbiomasse, durch die höchste Triebdichte aller Porphyrkuppenbestände gekennzeichnet (Tab. 5).

Die **Biomasse pro vegetativem Trieb** ist eng mit der Gesamtbiomasse korreliert (Abb. 7), während zwischen der **Anzahl der vegetativen Triebe und der Gesamtbiomasse** kein durchgängiger Zusammenhang nachweisbar ist (Abb. 8). Hier sind allerdings deutliche Gruppierungen nach Standortstypen (A, S, Sz) zu erkennen. In der **Gesamtzahl der Triebe** unterscheiden sich die Flächen viel weniger (rVk: 4,3 %) als in der Anzahl der Infloreszenz tragenden Triebe einerseits (rVk: 10,7 %) und der vegetativen Triebe andererseits (rVk: 7,1 %).

Mit steigender Biomasse pro vegetativem Trieb (also zugleich mit steigender Gesamtbiomasse) nimmt auch das Verhältnis zwischen der Biomasse der vegetativen Triebe und ihrer addierten Länge zu (Abb. 9), so daß von einer Zunahme auch der Breite und Dicke der Blätter ausgegangen werden kann. Hier werden ebenfalls standörtliche Charakteristika deutlich: Während die Regressionslinie einen insgesamt engen linearen Zusammenhang kennzeichnet, liegen alle Kiefernforstflächen unterhalb der Linie. In den Kiefernforsten weisen demnach die vegetativen Triebe ein in Relation zu ihrem Gewicht besonders geringes Gewicht pro Länge auf. Die umgekehrte Auffälligkeit zeigen die zwei Ascheflächen.

Die *C. epigejos*-Bestände der verschiedenen Standortstypen lassen sich zusammenfassend folgendermaßen charakterisieren:

Zwei der Bestände auf **Kaolin** zeichneten sich durch eine hohe Gesamtbiomasse aus und ähnelten darin, wie auch in ihren Strukturmerkmalen, den Porphyrkuppenbeständen. Der dritte Kaolinbestand, K 3, der im Gegensatz zu allen anderen Beständen in vegetationsfreie Flächen expandierte, unterschied sich durch eine deutliche höhere Zahl von Trieben je Horst und sehr lange Ausläufer bei gleichzeitig geringem Biomasseanteil dieser Fraktion und geringer Gesamtbiomasse pro Fläche. Trotz geringer Gesamtbiomasse war der Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe sehr hoch.

Die Gesamtbiomasse der **Porphyrkuppenbestände** variierte zwischen mittleren und sehr hohen Werten. Auch in ihren Strukturmerkmalen waren die Bestände wenig einheitlich.

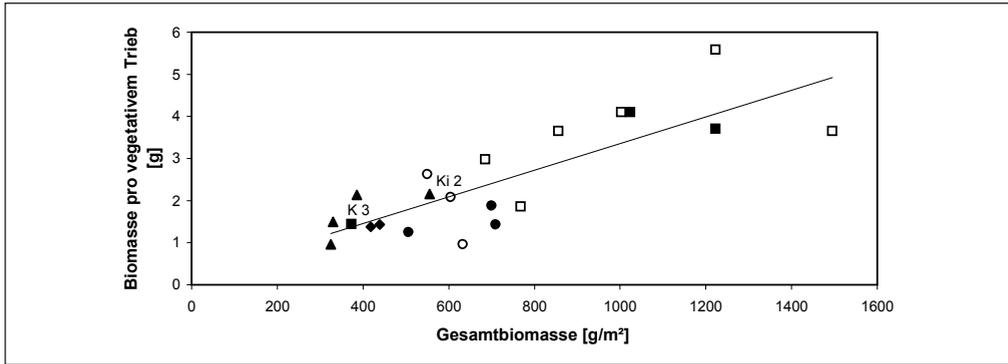


Abb. 7 Biomasseallokation pro vegetativem Trieb in Abhängigkeit von der Gesamtbiomasse pro Fläche
 $R^2_{\text{linear}} = 0,654$, $p < 0,0001$. Legende wie in Abb. 3.

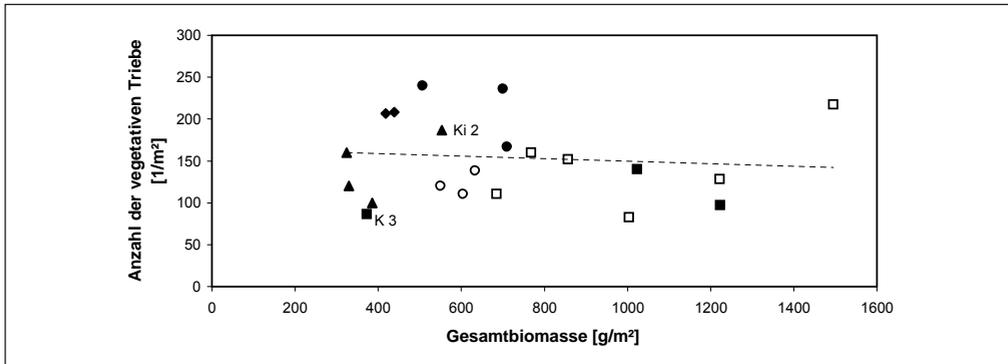


Abb. 8 Zusammenhang zwischen der Anzahl der vegetativen Triebe und der Gesamtbiomasse
 $R^2_{\text{linear}} = 0,013$, $p = 0,637$. Legende wie in Abb. 3.

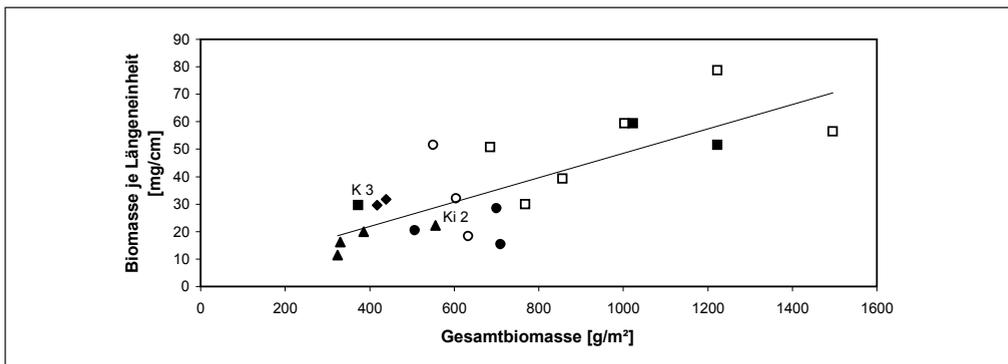


Abb. 9 Biomasseallokation der vegetativen Triebe: Biomasse je Zentimeter Länge im Verhältnis zur Gesamtbiomasse
 $R^2_{\text{linear}} = 0,6015$, $p < 0,0001$. Legende wie in Abb. 3.

Alle untersuchten Bestände von **Salzstandorten** wiesen bei mittlerer Gesamtbiomasse je Fläche einen relativ geringen Anteil Infloreszenz tragender Triebe auf. Im Widerspruch dazu war der mittlere Biomasseanteil der Rispen und Halme eher hoch; das ist aber bei genauer Betrachtung auf eine einzige Erntefläche zurückzuführen (Tab. 5: Sz 3), welche sich von den drei anderen Teilflächen des Dauerquadrates durch einen viel höheren Anteil Infloreszenz tragender Triebe abhob und damit nicht als repräsentativ anzusehen ist. Der Biomasseanteil der Ausläufer war in allen drei Fällen sehr gering. Die beiden Herden auf Abraummaterial (Tab. 5: Sz 1, 2) fallen durch die größte Zahl der Triebe pro Fläche sowie eine etwas höhere Zahl Triebe pro Horst auf.

Die *C. epigejos*-Bestände offener **Sandtrockenrasen** zeichneten sich trotz relativ geringer Gesamtbiomasse durch einen hohen Anteil Infloreszenz tragender Triebe, einen entsprechend hohen Biomasseanteil der Rispen und Halme und umgekehrt eine geringe Anzahl vegetativer Triebe je Fläche aus.

Bei den einander sehr ähnlichen Beständen der **Ascheflächen** lag die Gesamtzahl der Triebe und vor allem der vegetativen Triebe trotz vergleichsweise geringer Gesamtbiomassen im oberen Bereich. Der Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe war jedoch sehr niedrig, was auch in der Biomasseverteilung zum Ausdruck kommt. Auffällig ist weiterhin die in Relation zur geringen Biomasse pro vegetativem Trieb hohe Biomasse je Längeneinheit, sowie die schwach ausgeprägte Neigung zur Horstbildung.

Die *C. epigejos*-Bestände der **Kiefernforste** zeichnen sich trotz geringster mittlerer Gesamtbiomasse durch besonders lange vegetative Triebe aus. Die Zahl der Triebe pro Fläche lag hingegen im unteren Bereich. Der Anteil der Halme und Rispen an der Gesamtbiomasse war relativ gering, der der Ausläufer dagegen hoch. In der Länge der Ausläufer unterschieden sich die Kiefernforstbestände jedoch nicht von den anderen Standortstypen. Von diesen hoben sie sich hingegen deutlich durch die im Verhältnis zur Gesamtbiomasse geringe Biomasse je Längeneinheit ab. Die Fläche **Ki 2** mit ihrer nur geringen Gehölzdeckung vermittelte bei den verschiedenen Parametern zwischen den typischen Kiefernforstflächen und den anderen Standortstypen.

Nicht angeführt sind alle Eigenschaften, die sich nach den voranstehenden Ergebnissen direkt aus der jeweiligen Gesamtbiomasse je Fläche ableiten lassen.

6 DISKUSSION

6.1 Strukturelle Besonderheiten der Randbereiche expandierender Bestände

K 3 hob sich in einigen Merkmalen nicht nur von den beiden anderen Kaolingrubenflächen, sondern auch von allen anderen Dauerflächen ab. Ist dies auf die Sonderstellung als expandierender Bestand zurückzuführen? In der Literatur finden sich einige Strukturuntersuchungen expandierender *Calamagrostis epigejos*-Bestände. Bei diesen ergaben sich folgende Unterschiede zwischen der Randzone und dem zentralen Bereich: Am Rand expandierender *C. epigejos*-Bestände wurden mehr Triebe pro Horst gezählt (FAILLE et FARDJAH 1977) und ein höherer Anteil Infloreszenz tragender Triebe gefunden (BAUER 2001, FAILLE et FARDJAH 1977). Bei einem jungen, wachsenden Bestand waren die Abstände zwischen den Horsten an der Peripherie mit 15–30 cm weitaus größer als im Zentrum (5–10 cm; KLEBINGAT 1968); das kann als Hinweis auf längere Ausläufer am Rand gewertet werden. Die aus der Literatur zu entnehmenden strukturellen Besonderheiten des Randbereiches sich ausdehnender *C. epigejos*-Herden stimmen also mit unseren an K 3 gewonnenen Befunden überein. Der Bestand K 3 war mit 8 m² bedeckter Fläche so klein, daß die Dauerfläche trotz zentraler Lage, gemessen am Abstand zum Rand, zum Randbereich gehörte.

Typische Merkmale der Randbereiche expandierender *C. epigejos*-Bestände sind demnach eine erhöhte Zahl Triebe pro Horst (ein beibehaltenes Merkmal des Juvenilwachstums?), ein erhöhter Anteil Infloreszenz tragender Triebe und eine größere Länge der Ausläufer. Diese Sonderstellung der äußeren Zonen wachsender Bestände ist daher beim Vergleich von Daten zu Struktur und Allokation unbedingt zu berücksichtigen. So ermittelten JAKOB et al. (1996) auf Sandtrockenrasen in lockeren *C. epigejos*-Beständen einen viel größeren Anteil Infloreszenz tragender Triebe als in dichten, die zugleich deutlich höhere oberirdische Biomassen aufwiesen. Da aber, sowohl nach unseren hier vorgestellten Ergebnissen als auch nach REBELE (1996b),

der Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe tendenziell mit abnehmender Gesamtbiomasse sinkt, wäre der Unterschied in der Triebdichte und Biomasse schlüssiger über die Bestandesdynamik zu erklären, als wie JAKOB et al. (1996) vermuten, über Unterschiede im Substrat. Dann wären die lockeren Bestände als expansive Randbereiche anzusehen, denen sie durch einen erhöhten Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe und durch längere Ausläufer strukturell entsprechen. Diese Deutung entspricht tatsächlich den seitherigen Beobachtungen der Sukzession (TISCHEW in litt.).

6.2 Zu den einzelnen Strukturmerkmalen

Bei der **Triebdichte** reicht die Spanne der Werte in einer Übersichtstabelle mit Daten aus Ostdeutschland (REBELE et LEHMANN 2001) von 43 bis zu 1.000 Trieben pro m². Die sehr niedrigen Werte repräsentieren dabei gemähte Bestände oder Neubesiedlungen, die Werte über 500 stammen überwiegend von gepflanzten Reinkulturen auf nährstoffreichem Substrat. Unsere Flächen ordnen sich mit 128 bis 317 Trieben pro Quadratmeter zwischen diesen Extremen ein.

In Übereinstimmung mit dem in unseren Ergebnissen vorherrschenden Trend sank bei Kulturversuchen auf verschiedenen Substraten der **Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe** mit abnehmender Gesamtbiomasse (REBELE 1996b). Bei den genannten Versuchen wurden mit maximal 0,16 aber insgesamt deutlich niedrigere Werte für den Anteil der blüentragenden Triebe festgestellt als bei unseren Freilanduntersuchungen (durchschnittlich 0,29); als Ursache für den Unterschied kommt die räumliche Enge im Versuchsbeet in Frage.

Die **Anzahl der Triebe je Horst** betrug in Polen in Sandtrockenrasen und Kiefernforsten ca. 1,5, auf Schlagflächen und in ruderalen Auenwiesen dagegen 5 bis 6 (JANCZYK-WEGLARSKA 1996, 1997). Der erstgenannte Wert liegt in der von uns auf allen Flächen mit Ausnahme des expandierenden Bestandes K 3 angetroffenen Größenordnung. Die hohe Triebzahl der Horste auf den Schlagflächen und ruderalen Auenwiesen könnte auf eine ähnliche Dynamik wie bei K 3 hinweisen (s. oben).

Für die **Länge der vegetativen Triebe** konnte bei unserer Untersuchung ein enger Zusammenhang zur Gesamtbiomasse aufgezeigt werden. Die abweichende Hochwüchsigkeit im Kiefernforst läßt sich als Reaktion auf die Beschattung (Etiement) deuten; damit übereinstimmend stellten GLOSER et al. (1996) an *C. epigejos* bei Beschattung eine Erhöhung des Gewichtsanteils der Blätter (LWR) sowie der spezifischen Blattfläche (SLA) fest. Einige sonstige Ausreißerwerte zeigten jeweils eine gegenläufige Abweichung in der Triebdichte, so daß sich ein „trade-off“ zwischen der Anzahl der vegetativen Triebe pro Fläche und deren Länge andeutet.

Die **Länge der Infloreszenz tragenden Triebe** erwies sich als viel weniger variabel als die der vegetativen Triebe. Längere, d. h. höhere Halme bedingen exponiertere Blüten- und Fruchtstände und begünstigen damit sowohl den Pollenaustausch als auch die Effektivität der Diasporenausbreitung durch den Wind (FENNER 1985). Eine Mindesthöhe der Infloreszenz tragenden Triebe ist offenbar so entscheidend für die Chance erfolgreicher generativer Reproduktion, daß ein hoher Selektionsdruck nur geringe Abweichungen zuläßt. Daraus läßt sich auch schließen, daß die generative Reproduktion trotz sehr effektiver klonaler Vermehrung eine wichtige Bedeutung für die Art besitzt (vgl. GRÜTTNER et HEINZE 2003).

Wie bei der Anzahl der Triebe je Horst setzt sich bei der **Länge der Ausläufer** die Fläche K 3 mit durchschnittlich 26 cm bei einem Gesamtmittelwert von 12 cm sehr deutlich gegenüber den sonstigen Flächen ab; dies wurde oben auf die Bestandesdynamik zurückgeführt. Nicht begründen können wir die auch bei zwei Porphyrkuppenflächen mit 19 bzw. 20 cm erhöhten Ausläuferlängen. JANCZYK-WEGLARSKA (1996, 1997) fand in Kiefernforsten, Sandtrockenrasen und auf Schlagflächen ebenfalls eine mittlere Ausläuferlänge von etwa 12 cm, in ruderalen Auenwiesen betrug sie hingegen signifikant abweichend rund 15 cm. Möglicherweise wurden letztlich auch in diesen Fällen die längeren Ausläufer durch die Bestandesdynamik bedingt.

6.3 Bestandesstruktur und Gesamtbiomasse

Die **Gesamtbiomasse pro Fläche** ist ein zentraler Parameter, da sie integrierend die jeweilige Standortsgunst (artspezifisch und unter Einbeziehung der biotischen Standortsfaktoren, v. a. der Konkurrenz anderer

Pflanzenarten) widerspiegelt. Für die P- und K (1, 2)-Flächen konnte die erwartete positive Korrelation zwischen der nFK und der von *C. epigejos* erzeugten Gesamtbiomasse aufgezeigt werden, während die Gesamtbiomasse an allen anderen Standortstypen bei ähnlicher nFK deutlich niedriger war. Dies ist durch eine jeweils spezifische Beeinträchtigung der Biomassebildung zu erklären:

- In den Kiefernforsten beschatten die Bäume die Krautschicht und konkurrieren zusätzlich mit dieser um Wasser und Nährstoffe.
- Die Aschehalden sind insgesamt nur sehr schütter bewachsen. Ihre standörtliche Ungunst ist in der Literatur belegt (z.B. KATZUR et ENDERS 1977, CARLSON et ADRIANO 1993) und beruht vor allem auf Defiziten an Stickstoff und Phosphor, hohen Vorräten an Salzen, pflanzenverfügbarem Bor und anderen potentiell toxischen Spurenelementen, sowie der Entstehung von verfestigten Zwischenschichten im Boden. Die Eignung als Pflanzenwuchsort nimmt jedoch mit dem Alter der Halde rasch zu (CARLSON et ADRIANO 1993). Bei den untersuchten Halden endete die Nutzung in den siebziger (A 2) und achtziger Jahren (A 1), so daß in der Zwischenzeit größere Veränderungen der Standortbedingungen stattgefunden haben sollten. Anzeichen dafür waren zum einen der nur noch mäßig hohe pH-Wert, zum anderen der offenbar bereits im Oberboden akkumulierte Humus.
- Auch wenn *C. epigejos* die Salzzahl „0“, d.h. „nicht salzertragend“, zugeordnet wurde (ELLENBERG et al. 1991), kommt die Art in unserem Untersuchungsgebiet häufiger an Salzstellen vor. Auf erhöhte Salzgehalte reagiert sie offenbar mit verminderter Biomasseakkumulation (Sz 2, 3). Bereiche, an denen ausgesprochene Salzzeigerarten wachsen, werden gemieden. So wies der Bestand Sz 1 eine scharfe Grenze - ohne Anzeichen für ein Vordringen - zu einem *Aster tripolium*-Dominanzbestand mit *Salicornia europaea* agg. auf. In dem aus Salzurückständen bestehenden Kippboden fiel der Chloridgehalt steil zum *C. epigejos*-Bestand hin ab, unter diesem selbst war kein deutlich erhöhter Chloridgehalt nachzuweisen (Tab. 4). Verminderte Wuchsleistungen auch auf ausgewaschenem Abraumhaldenmaterial sind aber für verschiedene Arten belegt worden; als Ursache wurden die unausgewogenen Mineralgehalte des Substrats angegeben (HEINZE 1982).
- Bei den Sandtrockenrasen war die durchschnittliche Kationenverfügbarkeit (KAK_{20cm}) viel geringer als bei den Porphyrkuppen- und Kaolinstandorten.

Die Gesamtbiomasse pro Fläche hat sich als Maß für die Standortsgunst bewährt, da einige Parameter recht eng mit ihr korrelieren: Das gilt für den Biomasseanteil der Ausläufer unterhalb eines Schwellenwertes, die Länge der vegetativen Triebe, die Biomasse pro vegetativem Trieb und die Biomasse pro Längeneinheit der vegetativen Triebe. Im Gegensatz dazu wird die Anzahl der Triebe (gesamt oder nur vegetative oder nur Infloreszenz tragende) nicht durch die Gesamtbiomasse erklärt (vgl. Tab. 6).

Die in 5.2 festgestellten bzw. vermuteten Unterschiede zwischen den Standortstypen sind daher zu großen Teilen auf Unterschiede der Gesamtbiomassen zurückzuführen. Es bleiben aber einige standörtliche Eigenheiten (auffällige Gruppierungen der Merkmale nach Standortstypen), die nicht über den Zusammenhang zur Gesamtbiomasse erklärt werden können. Um Unterschiede zwischen einzelnen Standortstypen abzusichern, sind mehr Wiederholungen erforderlich. Die vorliegende Untersuchung hat explorativen Charakter, so daß einer größeren Zahl von Standortstypen der Vorzug gegenüber einer größeren Zahl von Wiederholungen gegeben wurde.

6.4 Biomasseverteilung vor allem im Hinblick auf die reproduktive Allokation

In dieser Studie wird die Biomasseallokation als Maß für die Investition der Pflanze in verschiedene Organe bzw. deren Funktionen verwendet. Zwar wären anhand der Allokation der limitierenden Ressourcen genauere Aussagen möglich, vergleichenden Studien zufolge unterscheiden sich die Ergebnisse aber nicht prinzipiell (BAZZAZ et al. 2000). Die Biomasse der Halme wurde als Allokation im Dienste der sexuellen Reproduktion aufgefaßt. Da Halme ausschließlich im Zusammenhang mit der Infloreszenzbildung produziert werden, ist deren primäre Funktion offensichtlich die des Trägers des Blüten- bzw. Fruchtstandes. Auch wenn sie, wie auch die Rispen selbst, durch Photosynthese einen Beitrag zur Biomassebildung leisten, ist nicht davon auszugehen, daß dieser kostendeckend ist (vgl. OBESO 2002).

Da die Biomassebestimmung aufgrund des Aufwandes nur für jeweils eine Teilfläche pro Bestand erfolgen konnte, ergeben sich bei den auf die Standortstypen bezogenen Biomasseparametern große Standardfehler (Abb. 2). Dennoch konnte eine signifikante negative Abhängigkeit zwischen dem Biomasseanteil der Ausläufer und dem der Halme und Rispen aufgezeigt werden, während kein Zusammenhang mit dem Biomasseanteil der Blätter nachweisbar war; Letzteres belegt, daß es sich nicht um zufällige Variabilität handelt. Halme und Rispen stehen im Dienst der generativen Fortpflanzung und der Fernausbreitung. Ausläufer hingegen dienen zur Überbrückung geringerer Entfernungen bei der vegetativen Fortpflanzung. Beide Komponenten haben damit das Ziel der Erzeugung neuer Triebe. Die generative Fortpflanzung erfolgt allerdings räumlich ungezielt und mit geringer Erfolgchance, während bei der vegetativen Vermehrung die Etablierungswahrscheinlichkeit hoch ist. Unseren Ergebnissen zufolge differieren die Bestände hinsichtlich der Verteilung der Investition auf diese zwei so verschiedenen Methoden der Fortpflanzung beträchtlich. Während bei sehr geringer Gesamtbiomasse ein höherer Biomasseanteil der Ausläufer festzustellen ist, ist oberhalb eines Schwellenwertes kein allometrischer Zusammenhang nachweisbar. Der auch dann noch bestehende negative Zusammenhang (trade-off) zwischen der Höhe der beiden Biomasseanteile zeigt an, daß diese in direktem Wettbewerb um einen Ressourcen“topf“ stehen.

Während ein Vergleich der auf unseren Dauerflächen erhobenen Biomassedaten mit in der Literatur dokumentierten Werten überwiegend nicht sinnvoll ist, weil der Erntezeitpunkt und die Auftrennung in Fraktionen zu sehr variieren, finden sich bei BRÜNN (1999) detaillierte Angaben zur **Biomasseverteilung** von *Calamagrostis epigejos* in Kiefernforsten auf Sandböden im Jahresverlauf. Für November wurden dabei Gesamtbiomassen (ohne Wurzeln und Streu) von ca. 225 bzw. 275 g/m² ermittelt, die beträchtlich unter unseren Werten liegen. Der Biomasseanteil der Ausläufer war mit 49 % sehr hoch, der Anteil der Halme und Rispen mit 2 % sehr niedrig. Damit fügen sich diese Daten nahtlos in die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Zusammenhänge (Abb. 4 und 5) ein: Bei noch geringerer Gesamtbiomasse war der Biomasseanteil der Ausläufer nochmals höher, der der Halme und Rispen umgekehrt geringer als in den von uns untersuchten Kiefernforsten.

Da es bisher keine allgemeingültige Antwort auf die Frage nach dem Verhältnis von sexueller und klonaler Reproduktion gibt (ERIKSSON 1997), sind konkrete Beispiele von hohem Interesse. Im Folgenden sollen deshalb unsere Daten einigen Hypothesen gegenübergestellt werden, die die zwei genannten Reproduktionsmechanismen in einen Zusammenhang bringen.

- Wenn ein wesentliches Ziel der Samenproduktion die Flucht aus dichten klonalen Beständen wäre, dann müßte zumindest bei monodominanten Beständen ein positiver Zusammenhang zwischen der Triebdichte und der Allokation in die sexuelle Reproduktion bestehen (ERIKSSON 1997). Eine Analyse unserer Daten erbringt jedoch keinerlei Hinweis auf einen solchen Zusammenhang ($R^2_{\text{linear}} = 0,031$, $p = 0,46$).
- Andererseits könnte sich das Verhältnis von sexueller und klonaler Reproduktion in Abhängigkeit von der artspezifischen Standortqualität einstellen. Dabei besteht zum einen die Möglichkeit, daß auf ungünstigen Standorten mit limitierenden Wasser- oder Nährstoffverhältnissen mehr in Ausläufer investiert wird, um die Horste mit den dazugehörigen Wurzeln ausreichend voneinander zu distanzieren. Plausibel ist aber auch die gegensätzliche Annahme, daß auf ungünstigen Standorten eine Fluchtstrategie mit einer erhöhten Investition in die sexuelle Reproduktion und damit die Fernausbreitung eingeschlagen wird. Die Gegenüberstellung von Gesamtbiomasse (als Maß für die artspezifische Standortgunst) einerseits, und dem Biomasseanteil der Ausläufer andererseits, zeigte unterhalb eines Schwellenwertes der Gesamtbiomasse einen negativen Zusammenhang auf. Das stimmt mit der erstgenannten Hypothese einer unter ungünstigen Bedingungen verstärkten Investition in die vegetative Fortpflanzung überein.
- Das Vorliegen standortsspezifischer Allokationsmuster wäre eine weitere Erklärungsmöglichkeit, da der Trend lediglich durch einen hohen Ausläuferanteil von Kiefernforst- und Aschefflächen zustande kommt. Die übrigen Untersuchungsflächen gruppieren sich jedoch nicht nach Standortstypen, so daß diese Erklärung nicht durchgängig greift.

Demnach findet offenbar generell auf sehr ungünstigen Standorten eine erhöhte relative Investition in die Ausläufer statt. Da oberhalb einer Gesamtbiomasse von ca. 500 g/m² weder Standortstyp noch Gesamtbio- masse (Abb. 4 und 5) das unterschiedliche Allokationsverhalten der Bestände erklären, kann eine erblich fixierte Komponente bei der Einstellung des „trade-off“ zwischen sexueller und vegetativer Fortpflanzung vermutet werden. Eine Abhängigkeit dieser Allokationsmuster vom Genotyp wurde für andere Arten bereits nachgewiesen (SCHMID et WEINER 1993, PRATI et SCHMID 2000).

Die Unterschiede der relativen Variationskoeffizienten der einzelnen Biomassefraktionen sind auffällig groß. Sie spiegeln offenbar die Bedeutung der jeweiligen Fraktion für die „fitness“ wider: Der Biomasse- anteil der Blätter insgesamt variiert nur wenig - die Photosynthese stellt die Grundlage des pflanzlichen Wachstums dar; besonders groß sind hingegen die Unterschiede bei der Fraktion der „Rispen und Halme“ - auf die sexuelle Reproduktion kann zumindest partiell verzichtet werden.

6.5 Welche Einflußgrößen wirken auf die Ausprägung der untersuchten Merkmale?

- Unter Einbeziehung von in der Literatur enthaltenen Beschreibungen konnte herausgearbeitet werden, daß sich die Randbereiche expandierender *Calamagrostis epigejos*-Bestände in den Strukturmerkmalen erheblich von konsolidierten Beständen unterscheiden. Damit stellt die **Bestandesdynamik** eine wichtige Einflußgröße dar.
- Zur Untersuchung möglicher **allometrischer Beziehungen** wurde die Gesamtbiomasse pro Fläche als Größenmaß verwendet. Am Beispiel der nFK wurde verdeutlicht, daß die Gesamtbiomasse pro Fläche die Standortseigenschaften widerspiegelt. Unter den Strukturmerkmalen war die Länge der vegetativen Triebe im Offenland von der Gesamtbiomasse pro Fläche abhängig ebenso wie die Biomasse pro vegetativem Trieb. Unterhalb eines Schwellenwertes stieg der Biomasseanteil der Ausläufer mit sinkender Gesamtbiomasse. Es läßt sich aber kein durchgängiger Zusammenhang zwischen der Ausprägung der verschiedenen Strukturparameter und der Allokationsmuster einerseits und der Gesamtbiomasse als Maß für die spezifische Standortsgunst andererseits herstellen, auch nicht unter Ausschluß der Waldflächen. Dies wird durch eine Übersicht über die entsprechenden Korrelationskoeffizienten bestätigt (Tab. 6).
- Eine nicht durch allometrische Beziehungen erklärbar **Standortsspezifität** stellt die im Kiefernforst trotz geringer Gesamtbiomasse erhöhte Länge der vegetativen Triebe dar sowie deren durchgängig in Relation zur Gesamtbiomasse geringe Biomasse je Längeneinheit. Umgekehrt zeichneten sich die Ascheflächen durch eine im Verhältnis zur Biomasse je vegetativem Trieb hohe Biomasse je Zentimeter Länge aus. Der trotz eher geringen Gesamtbiomassen hohe Anteil der Infloreszenz tragenden Triebe in den Sandtrockenrasen könnte ebenfalls eine standortsspezifische Besonderheit darstellen.
- Ein Hinweis auf **erblich fixierte Komponenten** der Strukturausprägung ergab sich bei der Länge der vegetativen Triebe. Hier könnte ein intern gesteuerter „trade-off“ zwischen der Länge einerseits und der Anzahl andererseits bestehen. Auch die Einstellung der relativen Allokation zugunsten der sexuellen und der vegetativen Reproduktion ist offenbar oberhalb eines Schwellenwertes genetisch gesteuert.

Die beobachtbare Variabilität der Strukturmerkmale hat also offensichtlich verschiedene Quellen. Von der entweder direkt oder aber indirekt über die Gesamtbiomasse pro Fläche durch Standortunterschiede hervorgerufenen Variabilität der Bestandeseigenschaften sind die Variabilität aufgrund der Bestandesdynamik sowie genetisch fixierte Komponenten zu unterscheiden. Es gibt deutliche Hinweise, daß genetische Differenzierungen zu der breiten Standortspalette der Art *C. epigejos* beitragen (GRÜTTNER et HEINZE 2003, LEHMANN 1995). Bei der ex-situ-Kultur von Transplantaten verschwanden aber die zwischen verschiedenen Wuchsorten festgestellten Strukturunterschiede, so daß diese zumindest zu einem hohen Anteil auf phänotypische Anpassungen zurückzuführen waren (JANCZYK-WEGLARSKA 1997). Nach neuen Modellierungsergebnissen wird bei migrationsfähigen Arten - zu diesen gehört *C. epigejos* aufgrund der Anemogamie und der gut flugfähigen Früchte - evolutionär die Ausbildung einer hohen phänotypischen Plastizität gegenüber der Neigung zur Ökotypenbildung begünstigt (SULTAN et SPENCER 2002). Die sehr ausgeprägte Fähigkeit des Land-Reitgrases zur phänotypischen Adaptation sowohl allometrisch als auch

Tab. 6 Korrelation verschiedener Strukturparameter mit der Gesamtbiomasse pro Fläche
a) unter Ausschluß von K 3 und b) unter Ausschluß von K 3 und allen Ki

	Korrelations- koeffizient (R^2)		p („Fisher’s r to z“)			
	Biomasse (log)		a		b	
	a	b	a		b	
Anzahl Infloreszenzen trag. Triebe (sqrt)	0.11	0.08	0.16	ns	0.30	ns
Anzahl vegetativer Triebe (sqrt)	0.02	0.12	0.59	ns	0.18	ns
Gesamtzahl Triebe (sqrt)	0.00	0.07	0.68	ns	0.32	ns
Anteil Infloreszenzen trag. Triebe (arcsin)	0.09	0.11	0.20	ns	0.20	ns
Anzahl Triebe pro Horst	0.16	0.08	0.08	(*)	0.28	ns
Länge der vegetativen Triebe	0.02	0.29	0.60	ns	0.03	*
Länge der Ausläufer	0.05	0.04	0.35	ns	0.47	ns

Transformationen: sqrt - Quadratwurzel, arcsin - Winkeltransformation

plastisch leistet also offenbar einen wichtigen Beitrag zu seinem außergewöhnlichen Erfolg. Als klonal wachsende Art verfügt es dabei über den zusätzlichen Spielraum, bei ungünstigen Rahmenbedingungen weitgehend auf die sexuelle Reproduktion zugunsten der vegetativen zu verzichten.

7 ZUSAMMENFASSUNG

GRÜTTNER, A.; HEINZE, U.: *Calamagrostis epigejos* (L.) ROTH: Bestandsstruktur, Gesamtbiomasse und Biomasseverteilung an unterschiedlichen Standorten. - *Hercynia N.F.* **36** (2003): 235–259.

In dieser Arbeit wurden 21 *Calamagrostis epigejos*-Bestände von 6 verschiedenen Standortstypen untersucht. Die standortkundliche Analyse der Wuchsorte, ergänzt durch die vegetationskundliche Charakterisierung der Bestände, belegte Unterschiede zwischen den Standortstypen, aber auch innerhalb derselben.

Ein kleiner expandierender Bestand zeichnete sich durch mehr Triebe pro Horst, längere Ausläufer und einen in Relation zur Gesamtbiomasse pro Fläche sehr hohen Anteil Infloreszenz tragender Triebe aus. Die Auswertung von in der Literatur vorliegenden Beschreibungen läßt die Schlußfolgerung zu, daß dies allgemeine Merkmale der Randzone sich ausdehnender *C. epigejos*-Bestände sind.

Die restlichen Bestände zeigten bei einer Spanne der Gesamtbiomasse (trocken, ohne Wurzeln) von knapp über 300 bis hin zu ca. 1.500 g/m² eine große Variabilität der Struktur- und Allokationsmerkmale. Dabei ergaben sich eine Reihe von Hinweisen auf standortsspezifische Strukturausprägungen. Um allometrische Effekte zu erkennen, wurde auch die Abhängigkeit wichtiger Merkmale von der Gesamtbiomasse pro Fläche untersucht. Das Gewicht der vegetativen Triebe zeigte eine deutliche Abhängigkeit, die Anzahl der Triebe je Fläche aber nicht. Bei den Offenlandbeständen stieg die Länge der vegetativen Triebe mit zunehmender Gesamtbiomasse gleichmäßig an; die Kiefernforstbestände zeichneten sich trotz geringer Gesamtbiossen durch lange vegetative Triebe bei gleichzeitig geringem Gewicht je Trieb aus. Zusätzlich fanden sich Hinweise auf einen „trade-off“ zwischen der Länge der vegetativen Triebe und der Gesamtzahl der Triebe. Als weniger variabel erwies sich die Länge (= Höhe) der Infloreszenz tragenden Triebe - dieses Merkmal hat daher offenbar größere Bedeutung für die Fitneß der Art.

Bei sehr geringer Gesamtbiomasse (Kiefernforste, Ascheflächen) war die Investition in die generative Reproduktion gering, während der Gewichtsanteil der Ausläufer deutlich zu hohen Werten verschoben

war. Bei höherer Gesamtbiomasse war kein allometrischer Effekt festzustellen, wohl aber ein „trade-off“ zwischen dem Biomasseanteil der Ausläufer (vegetative Reproduktion) und dem der Rispen und Halme (generative Reproduktion).

Eine hohe Variabilität, die hier auf vier verschiedene Quellen zurückgeführt wird, dürfte also die Anpassung an sehr unterschiedliche Bedingungen begünstigen. Besonderen Spielraum gibt dabei die Möglichkeit einer klonalen Art, die Investition in die sexuelle Reproduktion zu reduzieren.

8 DANKSAGUNG

Wir bedanken uns sehr herzlich bei Isabell Hensen, Franz Rebele, Sabine Tischew, Raimund Warnke-Grüttner und einem anonymen Gutachter, die durch Hinweise und Diskussion sehr zur Verbesserung des vorliegenden Aufsatzes beigetragen haben. Die Erstautorin schuldet dem Land Sachsen-Anhalt großen Dank für die Gewährung eines Forschungsstipendiums, in dessen Rahmen diese Veröffentlichung entstanden ist.

9 LITERATUR

- ALTERMANN, M.; KÜHN, D. (1995): Böden, Bodennutzung und Bodenschutz im Mitteldeutschen Trockengebiet am Beispiel der Querfurter Platte. - Mitt. deutsch. bodenkundl. Ges. **77**: 229–278.
- BARKMANN, J.; DOING, H.; SEGAL, S. (1964): Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. - Acta Bot. Neerl. **13**: 394–419.
- BAUER, E.-M. (2001): Populationsbiologische und pflanzensoziologische Untersuchungen im Bereich des Sturmwurf-Bannwaldes „Silbersandgrube“. - Berichte Freiburger Forstliche Forschung **32**: 5–53.
- BAZZAZ, F. A.; ACKERLY, D. D.; REEKIE, E. G. (2000): Reproductive allocation in plants. - In: FENNER, M. (Ed.): Seeds. The ecology of regeneration in plant communities: 1–29.
- BERGMANN, J.-H. (1993): Forschungsbericht - Das Sandrohr (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth). - Forstl. Forschungsabt. Eberswalde e.V., Abt. Waldbau, Landesforstverwaltung Brandenburg.
- BRÜNN, S.; GRIES, D.; SCHMIDT, W. (1996): Reaktion von *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth auf Unterschiede im Licht- und Stickstoffangebot. - Verh. Ges. Ökol. **26**: 775–780.
- BRÜNN, S. (1999): Untersuchungen zum Mineralstoffhaushalt von *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth in stickstoffbelasteten Kiefernwäldern. - Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme A, 160.
- BAGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hrg.) (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. - Hannover.
- CARLSON, C. L.; ADRIANO, D. C. (1993): Environmental impacts of coal combustion residues. - J. Environ. Qual. **22**: 227–247.
- CASWELL, H. (1985): The evolutionary demography of clonal reproduction. - In: JACKSON, J. B. C.; BUSS, L. W.; COOK, R. E. (Ed.): Population biology and evolution of clonal organisms: 187–224.
- DORMANN, C. F. (1997): Sandrohr (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth) in Trockenrasen des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin: Bestandstruktur, ökologische Auswirkungen und Pflegemaßnahmen. - Z. Ökol. u. Natursch. **6**: 207–217.
- ELLENBERG, H.; WEBER, H.E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W.; PAULISSEN, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - Scripta Geobotanica **18**.
- ERIKSSON, O. (1997): Clonal life histories and the evolution of seed recruitment. - In: KRON, H. DE; GROENENDAL, J. van (Ed.): The ecology and evolution of clonal plants. Leiden, Backhuys.
- FAILLE, A.; FARDJAH, M. (1977): Structure et évolution des peuplements de *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. en forêt de Fontainebleau. - Oecologia Plantarum **12**/4: 323–341.
- FENNER, M. (1985): Seed ecology. - New York.
- FIALA, K. (2001): The role of root system of *Calamagrostis epigejos* in its successful expansion in alluvial meadows. - Ekologia **20**/3: 292–300.
- GLASA (Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Hrg.) (1997): Bodenkarte Halle und Umgebung 1 : 50.000. - Halle.
- GLOSER, V.; SCHEURWATER, I.; LAMBERS, H. (1996): The interactive effect of irradiance and source of nitrogen on growth and root respiration of *Calamagrostis epigejos*. - New Phytol. **134**: 407–412.
- GRÜTTNER, A.; HEINZE, U. (2003): Welche Bedeutung hat die sexuelle Reproduktion für den Erfolg der Art *Calamagrostis*

- epigejos* (L.) ROTH? - Feddes Repertorium **114**/3–4: 240–256.
- HARPER, J. L. (1994): Population biology of plants. 9. Aufl. - London.
- HEINZE, M. (1982): Boden-Pflanze-Beziehungen auf natürlichen und künstlichen Gipsstandorten Thüringens. - Unveröff. Habilitation TU Dresden.
- HILLER, D. A.; MEUSER, H. (1998): Urbane Böden. - Berlin.
- HÖPFNER, B. (1966): Ökophysiologische Untersuchungen in einem extrem sauren *Calamagrostidetum epigeios*. - Diss. Univ. Gießen.
- JAKOB, S.; TISCHEW, S.; MAHN, E.-G. (1996): Zur Rolle von *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth in den Sandtrockenrasen des Braunkohlentagebaus „Goitsche“ (bei Delitzsch). - Verh. Ges. Ökol. **26**: 797–805.
- JANCZYK-WĘGLARSKA, J. (1996): Strategie rozwoju osobniczego *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth na tle warunków ekologicznych poznanskiego przelomu Warty. - Seria Biologia **56**. - Poznan.
- JANCZYK-WĘGLARSKA, J. (1997): An ex situ ecological experiment on the morphological and developmental variation of *Calamagrostis epigejos* (Poaceae). - Fragm. Flor. Geobot. **42**/2: 239–247.
- KATZUR, J.; ENDERS, I. (1977): Zur Wiedernutzbarmachung der Filteraschflächen des VEB Kraftwerke Boxberg. - Neue Bergbautechnik **7**/3: 200–204.
- KLEBINGAT, G. (1968): Ein Beitrag zur Biologie forstlicher Unkräuter. - SYS-Reporter **2**: 3–6.
- KOPECKY, K. (1986): Versuch einer Klassifizierung der ruderalen *Agropyron repens*- und *Calamagrostis epigejos*-Gesellschaften unter Anwendung der deduktiven Methode. - Folia Geobot. Phytotax. **21**: 225–242.
- LEHMANN, C. (1995): Schwermetalltoleranz bei *Agropyron repens* und *Calamagrostis epigejos*. - Kieler Notizen **23**: 49–51.
- LEHMANN, C.; REBELE, F. (1994): Zum Potential sexueller Fortpflanzung bei *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. - Verh. Ges. Ökol. **23**: 445–450.
- MACHULLA, G.; OSTERLOH, M.-J.; PETER, T.; TANNEBERG, H. (1995): Böden technogener und umgelagerter natürlicher Substrate im Stadtgebiet Halle. - Mitt. deutsch. bodenkundl. Ges. **77**: 407–422.
- MÜLLER, I.; SCHMID, B.; WEINER, J. (2000): The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. - Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **3**/2: 115–127.
- OBERDORFER, E. (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 7. Aufl. - Stuttgart.
- OBESO, J. R. (2002): The costs of reproduction in plants. - New Phytol. **155**: 321–348.
- OELKE, E. (Ed.) (1997): Sachsen-Anhalt. - Gotha.
- PRACH, K.; PYSEK, P. (1999): How do species dominating in succession differ from other? - J. Veg. Sci. **10**: 383–392.
- PRATI, D.; SCHMID, B. (2000): Genetic differentiation of life history traits within populations of the clonal plant *Ranunculus reptans*. - Oikos **90**: 442–456.
- REBELE, F. (1996a): *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth auf anthropogenen Standorten - ein Überblick. - Verh. Ges. Ökol. **26**: 753–763.
- REBELE, F. (1996b): Konkurrenz und Koexistenz bei ausdauernden Ruderalpflanzen. - Hamburg.
- REBELE, F.; SURMA, A.; KUZNIK, C.; BORNKAMM, R.; BREI, T. (1993): Heavy metal contamination of spontaneous vegetation and soil around the copper smelter “Legnica”. - Acta Soc. Bot. Polon. **62**/1-2: 53–57.
- REBELE, F.; LEHMANN, C. (2001): Biological Flora of Central Europe: *Calamagrostis epigejos* (L.) (Roth). - Flora **196**: 325–344.
- SCHLICHTING, E.; BLUME, H.-P.; STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. - Wien.
- SCHMID, B.; WEINER, I. (1993): Plastic relationships between reproductive and vegetative mass in *Solidago altissima*. - Evolution **47**: 61–74.
- SEDLÁKOVÁ, I.; FIALA, K. (2001): Ecological problems of degradation of alluvial meadows due to expanding *Calamagrostis epigejos*. - Ekológia (Bratislava) **20**, Suppl. 3: 226–233.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. (1998): Biometry, 3. Aufl. - New York.
- SULTAN, S. E.; SPENCER, H. G. (2002): Metapopulation structure favors plasticity over local adaptation. - Am. Nat. **160**/2: 271–283.
- ULANOVA, N. G. (1995): Vejnik nazemnyi. - Biologiceskaja flora Moskovskoj oblasti. - Moskau.
- VAN ELSSEN, T.; SCHMEISKY, H. (1990): Halophyten-Bestände im Einflusbereich von Rückstandshalden der Kali-Industrie. - Mitt. Erg. Stud. Ökol. Umweltsch. **9**: 167–180.
- VEB KARTOGRAPHISCHER DIENST POTSDAM (1978): Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung 1 : 100.000. Blatt 43 (Leipzig).
- ZIKELI, S.; KASTLER, M.; JAHN, R. (2001): Austauschigenschaften von Braunkohlenaschen: Einfluss von oxalat-löslichen Substanzen und organischer Substanz. - Mitt. deutsch. bodenkundl. Ges. **96**/2: 579–580.
- ZIKELI, S.; JAHN, R.; KASTLER, M. (2002): Initial soil development in lignite ash landfills and settling ponds in Saxony-Anhalt, Germany. - Z. Pflanzenernährung u. Bodenkunde **165**/4: 530–536.

Anschrift der Autorinnen:

Dr. Astrid Grüttner

Dipl.-Biol. Urte Heinze

Institut für Geobotanik und Botanischer Garten

der Martin-Luther-Universität

Am Kirchtor 1, 06108 Halle

e-mail: astrid.gruettner@web.de; heinze@botanik.uni-halle.de

STÜTZEL, T., unter Mitarbeit von JENNY, M.: Botanische Bestimmungsübungen. Praktische Einführung in die Pflanzenbestimmung. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2002. 112 S., 89 Abbildungen, 6 Tabellen. - ISBN 3-8252-8220-1. Preis: 15,90 Euro.

Die botanischen Bestimmungsübungen waren bisher ein fester Bestandteil des Grundstudiums in der Biologie, dessen Stellenwert jedoch immer mehr durch die Verlagerung von Lehrinhalten zugunsten der molekular-genetischen Fachrichtungen abnimmt. Die Folge ist, daß die dafür zur Verfügung stehende Zeit immer mehr reduziert und eine selbständige Aneignung von Artenkenntnissen durch die Studierenden vorausgesetzt wird. Wer jedoch als Anfänger schon einmal versucht hat, sich unbekannte Arten mit Hilfe der einschlägigen Bestimmungsliteratur zu erschließen, wird wissen, wie vielen Irrwegen und Fehlversuchen man unterliegen kann. So ist es zu begrüßen, daß mit diesem Buch ein systematischer Überblick über die für die Determination von Gefäßpflanzenarten wichtigen Kenntnisse vorlegt worden ist.

Nach den einleitenden Bemerkungen wird im ersten Kapitel auf die Morphologie der Kormophyten, die für die Bestimmung wichtigen Kenntnisse zum Bau des Blattes, des Sprosses, der Wurzel, der Blüten (-stände) und Früchte sowie zu Lebensdauer und Lebensformen eingegangen. Das nachfolgende Kapitel widmet sich dem Generationswechsel der Angiospermen mit den dafür notwendigen Voraussetzungen wie Bestäubung und Befruchtung sowie der Samenentwicklung, der Ausbreitung von Diasporen und der Keimung (epi- und hypogäisch). Nachfolgend werden kurz wichtige Angaben zur stammesgeschichtlichen Verwandtschaft (Morphologie, Anatomie, Homologie, Synapomorphie, Konvergenz) sowie zum hierarchischen Aufbau des taxonomischen Systems und seiner Nomenklatur gemacht, obwohl hier ein Hinweis auf die binäre Nomenklatur der Arten vermißt wird. Der Hauptteil des Buches ist der Beschreibung von 12 wichtigen und in Mitteleuropa weitverbreiteten Pflanzenfamilien (Ranunculaceae, Rosaceae, Fabaceae, Apiaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae, Scrophulariaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Liliaceae, Cyperaceae, Poaceae) vorbehalten. Zusätzlich wird auf Pflanzenfamilien eingegangen, die zum einen unsere wichtigsten einheimischen Baumarten zum anderen unsere Nutz- und Gemüsepflanzen sowie Obstbäume und -sträucher enthalten. Nach der Erklärung des Aufbaus von Blütenformeln und Blütendiagrammen, werden diese neben der Beschreibung von wichtigen Merkmalen für jede Pflanzenfamilie dargestellt. In einer vergleichenden farbigen Übersicht finden sich die Blütendiagramme und -formeln von den 12 wichtigsten und weiteren 14 Familien in den Einbandinnenseiten des Buches wieder. Der Untertitel des Buches wird jedoch nur dem abschließenden Teil zur praktischen Anleitung gerecht, da dieser zwei Beispiele zum Arbeiten mit dichotomen Bestimmungsschlüsseln (ROTHMALER und OBERDORFER) sowie Hinweise zum Anlegen eines Herbariums enthält. In einem kurzen Sachregister sind leider die häufig im Text aufgeführten wissenschaftlichen und deutschen Pflanzennamen nicht berücksichtigt, und das Literaturverzeichnis konzentriert sich auf Lehrbücher, Florenwerke, Wörterbücher und Anleitungen zur Herbartechnik.

Sieht man von einigen Unkorrektheiten ab (die Gattungsnamen *Cerasus* und *Prunus* werden vermischt; im Blütendiagramm der Fabaceae fehlt das mediane Staubblatt; in der Blütenformel der Juncaceae muß das Gynoeceum als oberständig gekennzeichnet werden; die Apfelfrucht als unterständige Beere zu bezeichnen, ist falsch), ist die fachlich-didaktische Aufbereitung des Buches gut gelungen, da es sich auf das für die Determination von Pflanzenarten Wesentliche konzentriert. In einer Vielzahl von Fußnoten werden darüber hinaus noch wertvolle Informationen eingeflochten. Hervorzuheben sind vor allem die sehr gut gelungenen Zeichnungen.

Dieses Buch stellt keinen Ersatz für Bestimmungsfloren wie ROTHMALER, OBERDORFER usw. dar, erleichtert jedoch im hohen Maße den Einstieg in die Pflanzenbestimmung (vor allem das schnelle Erkennen von Pflanzenfamilien) und die damit verbundene Auseinandersetzung mit der „organismischen“ Biologie. Sowohl für Studierende als auch für interessierte Naturfreunde ist dieses Buch zu empfehlen.

Monika PARTZSCH, Halle (Saale)