

Ursachen räumlicher und zeitlicher Differenzierungsprozesse von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf Flächen des mitteldeutschen Braunkohlentagebaus – Grundlagen für Renaturierungskonzepte

Sabine Tischew und Ernst-Gerhard Mahn

Synopsis

Causes of spatial and temporal processes of differentiation in psammophyte grassland on sites of Central German open-cast brown-coal mining areas – fundamentals for conceptions of renaturation.

Sandy substrates of groundwater independent former open-cast brown coal mining areas are colonized spontaneously by attractive psammophyte grassland communities (Corynephorion, Armerion). Both stability and successional behaviour of the vegetation types are insufficiently known. Permanent plots with special treatments (introducing species, sterilizing of substrate, substrate variation) are compared with undisturbed control plots to obtain information about successional dynamics in relation to different abiotic and biotic factors. It has been shown that rapid colonization of less extreme sites leads to rapid transition to degenerative phases. On dryer and more acid substrates the succession of the psammophyte grassland was slower and the communities remained more or less stable for a long period. The invasion rate of *Calamagrostis epigejos* into these stable communities was very low. On these extreme sites (pH 3.0–3.8) grey hairgrass sward shows no further change. In comparison with populations on less extreme sites higher mortality and lower fitness occurs. The absence of interspecific competition leads to stable populations.

In a second investigation we analysed the potential colonization of the psammophyte communities by pioneer tree species. On dryer and more acid sites only in years with higher precipitation seedlings of trees can establish. Nevertheless the total density of trees remains on a low level (*Betula pendula* 3.2 individuals/ha, *Pinus sylvestris* 8.5 individuals/ha). Therefore these sites are excellent for the conservation of psammophyte grassland communities without management.

In this context the importance of diaspore sources as an important factor for the colonization of mining areas is discussed.

The results allow the modification of renaturation concepts respecting the different successional processes under specific site conditions.

Räumliche und zeitliche Differenzierungsprozesse, Renaturierung, Sandtrockenrasen, Braunkohlentagebau, Sukzessionsverlauf, Extremstandorte, Dauerstadien

Spatial and temporal differentiation processes, renaturation, psammophyte grassland, open-cast brown-coal mining areas, course of succession, extreme sites, permanent stages

1 Problemstellung und Untersuchungsansatz

Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen gehören infolge Nutzungsänderung, Eutrophierung und Flächenentzug zu den gefährdeten Vegetationseinheiten Deutschlands (BERGER-LANDEFELDT & SUKOPP 1965, HEINKEN 1990, Spitzer et al. 1995, ELLENBERG 1996). Umso positiver ist die spontane Entwicklung dieser interessanten Offenlandgesellschaften auf Folgeflächen des Braunkohlentagebaus zu bewerten. Nach ersten vegetationskundlichen und standortökologischen Untersuchungen (vgl. auch Mahn & Tischew 1995) stellten sich, vor allem in Hinblick auf die Einbeziehung spontaner Besiedlungsprozesse in Renaturierungskonzepte zur Entwicklung der oben genannten Vegetationstypen, grundlegende Fragen nach den räumlichen und zeitlichen Differenzierungsprozessen des Sandtrockenrasenkomplexes auf Tagebaukippen:

- Kann aus dem räumlichen Nebeneinander von Vegetationseinheiten einer theoretisch zu erwartenden Stadienfolge auf deren zeitliches Nacheinander geschlossen werden?
- Welche Zeiträume müssen für Sukzessionsprozesse im Sandtrockenrasenkomplex der Tagebaufolgelandschaft veranschlagt werden?
- Wie schnell und über welche Arten werden die Sandtrockenrasen durch Gehölzstadien abgebaut?
- Wie kann das Entwicklungspotential von sandigen grundwasserfernen Standorten der Tagebau-

landschaft in Hinblick auf die Entwicklung zu Trockenrasenstadien differenziert werden?

Da bisher kaum längerfristige Untersuchungen zur Dynamik von Sandtrockenrasenstandorten in der Tagebaufolgelandschaft vorlagen (vgl. auch WOLF 1985), sollten zur Klärung dieser Problematik wesentliche populations- und vegetationsökologische Prozesse bzw. Parameter (Keimung, Überlebensraten, Eintritt in reproduktive Stadien, Entwicklung der Individuenzahlen und der Deckungsgrade) über die detaillierte Analyse von Dauerflächen in unterschiedlichen Vegetationseinheiten des Sandtrockenrasenkomplexes erfaßt werden. Damit sollte auch ein Vergleich zur Dynamik ähnlicher Vegetationseinheiten auf gewachsenen Standorten ermöglicht werden (vgl. TÜXEN 1937, BERGER-LANDEFELD & SUKOPP 1965, REICHHOFF & BÖHNERT 1978, DANIELS et al. 1987). Eine wesentliche Frage für den Verlauf von Sukzessionen ist die nach dem Vorhandensein von Diasporenquellen der potentiell die jeweiligen Sukzessionsstadien abbauenden Arten (MCCOOK 1994, Täuber 1994). Mit Hilfe von Einsaaten in verschiedenen Sukzessionsstadien sollte geklärt werden, wie die Vegetationseinheiten auf einen erhöhten Diasporendruck derartiger Arten reagieren. Für die Einbindung von spontanen Besiedlungsprozessen in Renaturierungsplanungen ist es weiterhin wesentlich, Aussagen zur initialen Besiedlungsgeschwindigkeit der verschiedenen Substrate treffen zu können. Daher sollten auf Substraten ausgewählter Vegetationseinheiten durch Oberbodensterilisation die Sukzession neu gestartet und initiale Besiedlungsprozesse detailliert erfaßt werden.

2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen liegen im Tagebaugbiet der »Goitsche« – einem 60 km² großen ehemaligen Abbaugbiet zwischen Bitterfeld und Delitzsch in Sachsen-Anhalt und Sachsen am Rand des Mitteldeutschen Trockengebietes.

Die überwiegend sandigen Kipp-Substrate bieten hinsichtlich des pH-Wertes und damit korreliert der phytotoxischen Al³⁺-Freisetzung sowie der Neigung zur Verkrustung bzw. Verdichtung deutlich differenzierte Besiedlungsbedingungen (MAHN & TISCHEW 1995). Die überwiegend aus Tertiär-Materialien bestehenden Substrate weisen jeweils die ungünstigsten Bedingungen auf. Hervorzuheben ist die Hydrophobie dieser feinsandigen zumeist auch extrem sauren Substrate, die im folgenden als »Extremsubstrate« bezeichnet werden. Mit zunehmendem Quartär-Anteil werden die Mischsubstrate besiedlungsfreundlicher. Im Untersuchungsgebiet ist ein Mosaik dieser verschiedenen Substrattypen – bis hin zu reinen Quartär-Sanden – zu finden.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf zwei grundwasserferne Bereiche: die Sandtrockenrasen bei Petersroda (ca. 30 Jahre alt, großflächiges Mosaik aus spontan entwickelten Silbergras-Pionierfluren, Sandtrockenrasen, Stauden- und Ginsterfluren mit vereinzelt Gehölzen auf Mischsubstraten unterschiedlicher Quartär/Tertiär-Verhältnisse) und die der »Schwedenschanze« bei Petersroda (4 Jahre alt, reine Quartärsand-Böschung). Sie stellen repräsentative Ausschnitte der (noch) relativ großflächig verbreiteten Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen im Tagebaugbiet »Goitsche« dar und unterliegen keiner Nutzung.

3 Material und Methoden

3.1 Dauerflächenuntersuchungen auf dem Sandtrockenrasen bei Petersroda

In den 6 vorangehend (1994) unterschiedenen Vegetationseinheiten wurden jeweils sechs 1m² große Dauerflächen in repräsentativen Beständen seit 1994 mehrmals jährlich (mindestens Frühjahr, Sommer, Herbst) untersucht. Die Vegetationsaufnahmen erfolgten nach einer verfeinerten Londo-Skala (LONDO 1984). Für den in dieser Studie geführten Vergleich wurden nur die Sommer-Aufnahmen berücksichtigt. Die Populationsstruktur dominanter Arten wurde zum jeweiligen Blütezeitpunkt auf jeweils drei der Dauerflächen erfaßt (z.B. *Corynephorus canescens*, *Calamagrostis epigejos*). Auf jeweils drei Dauerflächen der Silbergrasfluren und der kryptogamenreichen Silbergrasfluren wurden 1994 und 1995 alle Keimlinge von *Corynephorus canescens* markiert und die Überlebensraten mehrmals jährlich bis in das generative Stadium bestimmt. 1996 wurde auf den Dauerflächen der Silbergrasfluren zusätzlich von jeweils 20 blühenden dreijährigen Horsten der Horstdurchmesser, die Anzahl der Blühtriebe und die Höhe der Blühtriebe bestimmt.

Über alle Dauerflächen zur Untersuchung der kleinräumigen Differenzierung des Sandtrockenrasenkomplexes hinweg wurde 1995 ein 160m x 310m großes Raster aus jeweils 100m² großen quadratischen Teilflächen gelegt, auf denen alle Gehölze lagegerecht erfaßt und vermessen worden. 1997 sind diese Messungen für die beiden häufigsten Arten *Pinus sylvestris* und *Betula pendula* wiederholt worden.

Die pH-Werte wurden mittels Sammelprobe aus 10 Einstichen (0–10cm Tiefe) in KCl, die Al³⁺-Werte nach COLEMAN et al. (1959) bestimmt.

3.2 Experimentelle Eingriffe in den Sukzessionsverlauf (Sandtrockenrasen bei Petersroda)

Auf weiteren sechs 1 m² großen Dauerflächen wurden im Herbst 1994 potentiell abbauende Arten eingesät. Dabei wurden in jeweils drei Flächen 300 Diasporen und in weitere drei Flächen jeweils 100 Diasporen oberflächennah eingebracht. Zur einfacheren Ergebnisdarstellung wurden die Varianten zusammengefaßt. Das Saatgut stammt aus dem Untersuchungsgebiet, die Keimfähigkeit wurde mittels vier Wiederholungen an jeweils 25 Diasporen im Keimversuch (14 h bei 22°C, 10 h bei 14°C) bestimmt. Die nicht gekeimten Diasporen wurden anschließend einem Tetrazolium-Test unterzogen. Die Einsaatstellen wurden markiert und aufgelaufene Keimlinge individuell markiert (nummerierte Spießel).

Zur Bestimmung der initialen Besiedlungsgeschwindigkeit wurden nach einer Vegetationsaufnahme von einer Grundfläche von 0,25 m² die oberirdische Vegetation entfernt, das Substrat 0,25 m tief ausgehoben, vegetative Teile ausgelesen und anschließend das Substrat durch Dämpfen sterilisiert und wieder in die von Teichfolie umgebenen »plots« eingebracht. Die ursprünglichen Vegetationseinheiten entsprachen artenreicheren kryptogamenreichen Silbergrasfluren (drei Flächen), *Helichrysum arenarium-Hieracium pilosella*-dominierten Sandtrockenrasen (drei Flächen) und staudenreicheren Sandtrockenrasen (drei Flächen). Aufgrund der gleichlaufenden Entwicklung wurden diese neun Flächen des »Original-Substrates« (Quartär-Tertiär-Mischsubstrat im pH-Wert-Bereich von 3,8 bis 5,2) zusammengefaßt. Zum Vergleich wurden in gleicher Art und Weise noch jeweils neun Flächen mit sterilem Quartär-Sand sowie gedämpfter Gartenerde angelegt. Auf allen »plots« wurden jährlich von allen Arten die Individuenzahlen und der Deckungsgrad bestimmt.

3.3 Vergleichende Untersuchungen auf der Quartärsand-Böschung an der Schweden-schanze

Auf neun 1 m²-Teilflächen wurden analog zu den Untersuchungen auf dem Sandtrockenrasen bei Petersroda die Vegetationsentwicklung seit der Verkipfung von sterilem Substrat 1994 verfolgt und populationsökologische Untersuchungen an *Corynephorus canescens* vorgenommen. Leider sind hier einige der Markierungen beseitigt worden, so daß die Übergangsrasen nur näherungsweise angegeben werden können.

3.4 Statistische Auswertung

Die Mittelwertsunterschiede der einzelnen Parameter wurden mit dem parameterfreien Mann-Whitney U-Test abgesichert. Das Signifikanzniveau wird in der Regel zwischen den verglichenen Werten folgendermaßen angegeben: * $-0,05 \geq p > 0,01$ / ** $-0,01 \geq p > 0,001$ / *** $-p \leq 0,001$ oder im Text erwähnt.

4 Ergebnisse

4.1 Dauerflächenuntersuchungen des Sandtrockenrasen-Komplexes (Petersroda)

Die auf den Sandtrockenrasen bei Petersroda festgestellten Vegetationseinheiten unterschieden sich deutlich in ihrer Struktur und ihren Standortbedingungen (Tab. 1). Die Silbergrasfluren können syntaxonomisch dem Spergulo-Corynephorum (COR) bzw. dem Spergulo-Corynephorum cladonietosum (CORM) zugeordnet werden. Die *Helichrysum arenarium-Hieracium pilosella*-dominierten Sandtrockenrasen (HELI) weisen eine Tendenz zum Verband *Armerion elongatae* auf, die leguminosenreichen (TRIF) und staudenreichen (ART) Sandtrockenrasen sind syntaxonomisch ebenfalls am ehesten diesem Verband anzuschließen. Abgesehen von den standörtlichen Unterschieden könnten die bisher aufgeführten Vegetationseinheiten – entsprechend den Untersuchungen auf gewachsenen Standorten – theoretisch einer Sukzessionsreihe zugeordnet werden. Zusätzlich wurden von *Calamagrostis epigejos*-dominierte Sandtrockenrasen (CAL) in die Untersuchungen einbezogen.

Nach vierjährigen Untersuchungen lassen sich für die einzelnen Vegetationseinheiten zum Teil gegensätzliche Entwicklungstendenzen erkennen. Die Silbergrasfluren (COR) haben sich bis auf eine Deckungsgradzunahme von *Corynephorus canescens* nicht weiter entwickelt. Die kryptogamenreichen Silbergrasfluren wiesen zumindest eine floristische Anreicherung auf. Überraschend nahm auf den HELI-Flächen der Deckungsgrad von *Corynephorus canescens* auf Kosten des Deckungsgrades von *Helichrysum arenarium* zu und in den ehemals leguminosenreichen Beständen verdoppelte sich der Deckungsgrad von *Helichrysum arenarium* und *Hieracium pilosella* auf Kosten der Leguminosen. Interessanterweise nahm auch auf den *Calamagrostis epigejos*-dominierten Flächen der Deckungsgrad der Trockenrasenarten zu, die Triebzahl von *Calamagrostis epigejos* dagegen deutlich ab (Abb. 1). Dafür nahmen auf einem Teil der staudenreichen Dauerflächen (ART) *Calamagrostis epigejos*, auf anderen dagegen wiederum Trockenrasenarten im Deckungsgrad zu (Tab. 1). Die Triebzahl von *Calamagrostis*

Tab. 1

Dauerflächen »Sandtrockenrasen bei Petersroda« (n=6, Alter ca. 30 Jahre, Mischsubstrat mit unterschiedlichen Anteilen Quartär/Tertiär)

Table 1

Permanent plots »psammophyte grassland near Petersroda« (n=6, age about 30 years, mixed substrates of different portions of quaternary/tertiary materials)

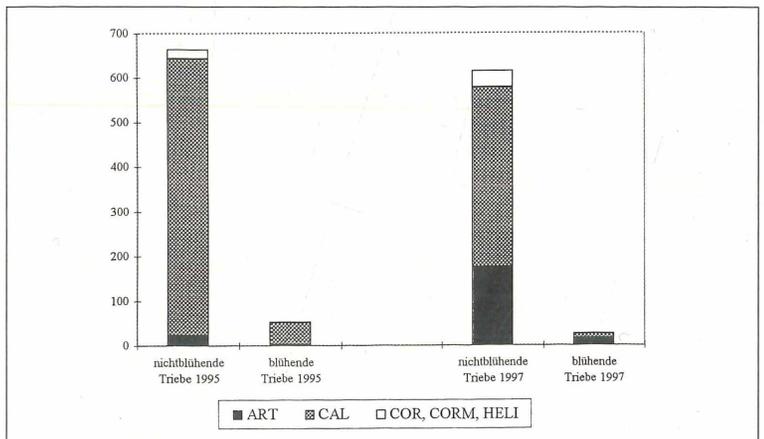
	COR		CORM		HELI		TRIF		CAL		ART	
	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997
pH-Wert in KCl, 0–10cm	3,5		3,8		4,0		4,4		4,4		5,2	
Al 3+ [mg/100g], 0–10cm	77,1		61,2		36,8		11,2		24,8		3,0	
									(z.T. Aufkalkung)		(Aufkalkung)	
mittlerer Deckungsgrad in %:												
Krautschicht	5,9 (*)	12,7	7,0 (**)	25,3	25,0 (*)	46,3	78,3	60,8	37,0	54,2	35,0 (*)	62,5
Kryptogamenschicht	0,9	4,8	80,2 (*)	54,3	30,0	47,5	36,7	54,5	9,8 (*)	27,0	26,7	50,0
ausgewählte Arten												
<i>Corynephorus canescens</i>	5,7 (*)	12,0	6,5 (**)	19,2	3,0 (**)	22,0	2,5	2,5	0,1 (*)	15,2	1,2	15,0
<i>Hieracium pilosella</i>	0,2	0,7	0,2 (**)	2,7	4,3 (*)	11,3	15,0	33,2	1,1 (**)	14,8	5,5	9,3
<i>Helichrysum arenarium</i>	0,01		0,1	1,3	15,0	8,7	4,3	8,3	1,5	3,7	2,9	2,8
<i>Filago minima</i>					0,03	0,2						
<i>Trifolium arvense</i>				0,2			35,0 (**)	6,1	0,03	1,2	0,9	2,9
<i>Artemisia campestris</i>						0,2	0,1	2,0	0,3		13,3	14,3
<i>Calamagrostis epigejos</i>	0,01	0,03		0,01	0,01	0,1			31,7	28,7	0,02 (*)	14,5
mittlere Gesamtartenzahl	1,7	1,5	3,3 (**)	5,2	5,3	6,8	11,3	10,0	6,5	7,7	11,5	10,3
mittelfristige Tendenz 1994–1997	Stagnation		langsame Progression		Stagnation bzw. Tendenz zur Regression				Tendenz zur Regression		(C. epigejos-Einwanderung)	
langfristiger Sukzessionsverlauf	Stagnation		langsame Progression									

Abb. 1

Entwicklung der Triebzahl von *Calamagrostis epigejos* auf den Probeflächen »Sandtrockenrasen bei Petersroda«

Fig. 1

Development of *Calamagrostis epigejos* shoots on the experimental area »psammophyte grassland near Petersroda«



epigejos in den Silbergrasfluren (COR, CORM) und Sandtrockenrasenbeständen im engerem Sinne (HELI) nahm nur unwesentlich zu (Abb. 1). Insgesamt blieb die Triebzahl vom Land-Reitgras auf den Dauerflächen nahezu konstant. Es kam lediglich zu der beschriebenen Verschiebung der Anteile zwischen den Vegetationseinheiten. Die ohnehin nur geringe Anzahl blühender Triebe nahm weiter ab.

Die Untersuchungen zur Populationsstruktur von *Corynephorus canescens* zeigen deutlich den Einfluß

der Witterung auf mittelfristig ablaufende Prozesse (Abb. 2). Während des milden und feuchten Herbstes 1994 konnten auf den COR und CORM-Flächen durchschnittlich viermal so viele Keimlinge aufzulaufen wie 1995 (COR 1994: 1516 Keimlinge/m², 1995: 408 Keimlinge/m²; CORM 1994: 867 Keimlinge/m², 1995: 233 Keimlinge/m²). Der milde Winter 1994/95 begünstigte den Übergang aus der sensiblen Keimlingsphase in die juvenile und vegetative Phase. 1995 konnten auf allen Flächen signifikant mehr ju-

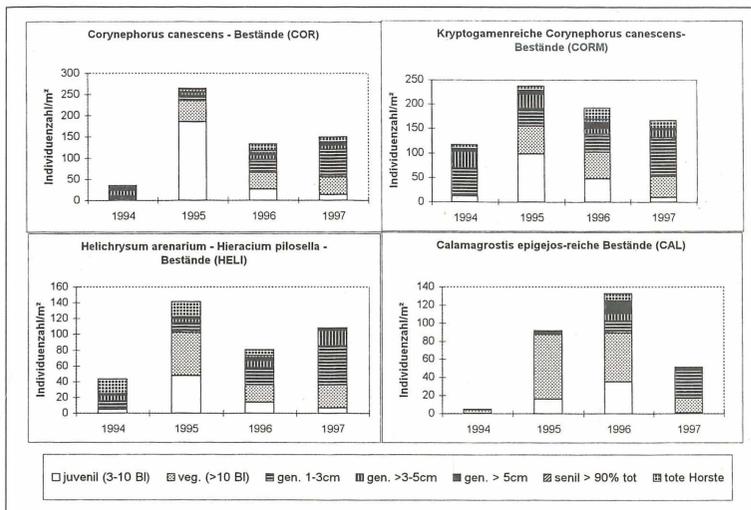


Abb. 2
Entwicklung der Populationsstruktur von *Corynephorus canescens* (Sandtrockenrasen bei Petersroda)

Fig. 2
Development of population structure of *Corynephorus canescens* (psammophyte grassland near Petersroda)

venile und vegetative Individuen festgestellt werden. Die darauffolgenden zwei trockenen Sommer begünstigten indirekt die weitere Entwicklung der Individuen durch die geschwächte Konkurrenzkraft der weniger xeromorphen Arten, so daß 1997 auf allen Flächen die Anzahl der generativen Individuen, vor allem in der unteren Größenklasse (gen. 1–3 cm) zugenommen hat. Bis auf die CAL-Flächen sind die Unterschiede auch statistisch abgesichert. Unerwartet konnte sich so auch in den HELI-Beständen aus einer sehr ungünstigen Populationsstruktur 1994 heraus wieder eine vitale Population konsolidieren.

4.2 Einsaatversuche

Nach der Einsaat der Diasporen im Herbst 1994 lief bis zum Frühjahr 1995 trotz einer hohen Keimfähigkeit nur ein geringer Teil der Diasporen auf (Tab. 2). Etablieren im Sinne eines Eintrittes in die reproduktive Phase konnte sich keine Art. Auffällig war das Verweilen von *Centaurea stoebe* in einem mehr als drei Jahre andauernden (retardierten) sterilen Stadium, bis die Individuen 1997 zum Großteil abstarben.

4.3 Neustart der Sukzession

Die Wiederbesiedlung der sterilisierten Substrate erfolgte mit einer deutlich differenzierten Geschwindigkeit und Artenvielfalt (Tab. 3). Selbst bei unmittelbar in der Umgebung vorhandenen geeigneten Diasporenquellen verlief die Besiedlung der Originalsubstratflächen mit einer starken Verzögerung. Lediglich *Corynephorus canescens* konnte sich mit vielen, aber immer noch sehr kleinen Individuen etablieren.

Die Besiedlung durch *C. canescens* wird zumeist durch die vorangegangene Ausbildung eines dünnen Teppichs von Grünalgen eingeleitet, der offensichtlich die Keimungsbedingungen für das Silbergras lokal verbessert. Auf den Quartärsand- und Gartenerdeflächen konnten sich relativ schnell gemeinsam mit dem Silbergras auch *Trockenrasenarten* (z.B. *Hieracium pilosella*, *Artemisia campestris*) und ausschließlich auf den Gartenerdeflächen auch die ersten Ruderalarten und Gehölze (z.B. *Coryza canadensis*, *Betula pendula*) ansiedeln. Der mittlere Deckungsgrad der Krautschicht erreichte im dritten Sukzessionsjahr signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Die mittlere Individuenzahl/Fläche war dagegen nahezu gleich.

4.4 Vergleich der Silbergrasfluren auf unterschiedlichen Substraten

Verglichen wurden zwei physiognomisch auf den ersten Blick sehr ähnliche Silbergrasfluren auf unterschiedlichen Substraten (Quartärsand bzw. sandige Mischsubstrate mit sehr hohem Tertiäranteil). *Corynephorus canescens* erreichte im betrachteten Jahr (1996) auf beiden Flächen ähnliche Deckungsgradwerte (Tab. 4). Der Deckungsgrad weiterer Arten ist auf beiden Standorten sehr gering, auffällig ist aber bei genauerer Betrachtung die beachtliche Zunahme von Arten auf dem Quartärsand (Ruderalarten und Gehölze mit noch sehr geringem Deckungsgrad). Auch die Populationsstruktur von *Corynephorus canescens* weist deutliche Unterschiede auf. Auf der Quartärfläche sind signifikant weniger tote und senile Individuen zu verzeichnen. Weniger generative Horste der Quartärsand-Population erreichen eine signifi-

Tab. 2
Einsaatversuche (Sandtrockenrasen bei Petersroda)

Table 2
Sowing experiments (psammophyte grassland near Petersroda)

a) Keimfähigkeit bei Diasporeneinsaat in % (20. 10. 1994)

	Keimfähigkeit	pot. Keimfähigkeit (nach TTC-Test)
<i>Hieracium pilosella</i>	81	81
<i>Helichrysum arenarium</i>	98	98
<i>Centaurea stoebe</i>	98	98
<i>Trifolium arvense</i>	20	74
<i>Artemisia campestris</i>	81	81

b) Keimlingsaufkommen (bis 28. 04. 1995)

	COR	CORM	HELI
<i>Hieracium pilosella</i>	0	0,3	
<i>Helichrysum arenarium</i>	0	0	
<i>Centaurea stoebe</i>	0,9	4,1	14,9
<i>Trifolium arvense</i>		2,4	
<i>Artemisia campestris</i>		0,2	0

c) Etablierung (bis 20. 07. 1995)

	COR	CORM	HELI
<i>Hieracium pilosella</i>	0	0	
<i>Helichrysum arenarium</i>	0	0	
<i>Centaurea stoebe</i>	0	0	5,9 »Oskars«
<i>Trifolium arvense</i>		0	
<i>Artemisia campestris</i>		0	0

Tab. 3
Gekürzte Tabelle der Sukzessionsflächen (sterilisierte Flächen) auf dem Sandtrockenrasen bei Petersroda (n=9, IZ – Individuenzahl)

Table 3
Shortened table of successional plots (sterilized plots) on the psammophyte grassland near Petersroda (n=9; IZ – individual number)

	Originalsubstrat (Mischsubstrat)			Quartärsand			Gartenerde		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
Kryptogamenschicht %D		3,5	0,1	4,1	0,9		40,8	16,3	
Krautschicht %D	0,02	0,5	3,1	2,1	10,6		13,1	4,9	21,9
Krautschicht IZ	(0,2)	(10,7)	(91,9)	(59)	(91,8)		(36,4)	(71,2)	(103,2)
<i>Corynephorus canescens</i> %D	0,01	0,4	2,9	1,3	7,0		0,1	1,5	3,4
<i>C. canescens</i> IZ	(0,1)	(9,3)	(71,9)	(21,9)	(33,4)		(0,4)	(26,8)	(22,9)
<i>Hieracium pilosella</i> %D					0,0			0,1	0,4
<i>Helichrysum arenarium</i> %D		0,02	0,01		0,02	0,1		0,1	0,2
<i>Trifolium arvense</i> %D					0,00	3,0		0,6	12,6
<i>Lotus corniculatus</i> %D					0,01	0,2			0,9
<i>Artemisia campestris</i> %D					0,01	0,1	2,5	1,7	3,2
<i>Conyza canadensis</i> %D							0,2	0,1	0,4
<i>Betula pendula</i> %D								0,2	0,6
<i>Calamagrostis epigejos</i> %D								0,01	0,03
mittl. Artenzahl	0,2	1,2	1,2	0	3,1	4,0	1,8	6,4	5,7

Tab. 4

Vergleich von *Corynephorus canescens* – Populationen in Silbergrasfluren auf unterschiedlichen Substraten

Table 4

Comparison of *Corynephorus canescens* – populations in grey hairgrass swards on different substrates

	Dauerstadium Sandtrockenrasen bei Petersroda (COR-Bestände)		»echtes« Pionierstadium Böschung Schwedenschanze
	sandige Mischsubstrate (pH-Wert 2,9–3,5) Alter ca. 30 Jahre		Quartärsande (pH-Wert: 4,8–5,6) Alter 3 Jahre
	Deckungsgrad Krautschicht: 10,6%; mittl. AZ: 1,5		Deckungsgrad Krautschicht: 10 %; mittl. AZ: 12
	Deckungsgrad <i>Corynephorus</i> <i>canescens</i> : 10,1		Deckungsgrad <i>Corynephorus</i> <i>canescens</i> : 9,0
Populationsstruktur Juni 1996			
mittlere Individuendichte/m ²	116,3		82,7
juvenile Individuen	65,0		69,8
generative Horste	46,0	(*)	15,4
senile Horste	5,3	(**)	0
tote Horste	16,3	(*)	0,3
Eintritt in reproduktive Phase	überwiegend erst im 3. oder 4. Jahr		überwiegend im 2. Jahr
mittlere Anzahl Blühtriebe/Horst 1996 (dreijährige Horste)	3,9	(***)	183,5
mittlere Höhe Blühtriebe in cm 1996 (dreijährige Horste)	18,9	(***)	38,2
mittlerer Durchmesser Horste in cm (dreijährige blühende Horste)	2,7	(***)	12,5
Überlebensraten Keimlinge	10% ins juvenile Stadium, 5% ins generative Stadium		ca. 50% ins juvenile Stadium ca. 30% ins generative Stadium
	↓		↓
	physiologischer Grenzbereich		physiologisch optimaler Bereich
	keine interspezifische Konkurrenz		Einwanderung Ruderalarten/Gehölze
	langfristig stabile Populationen		langfristig Verdrängung

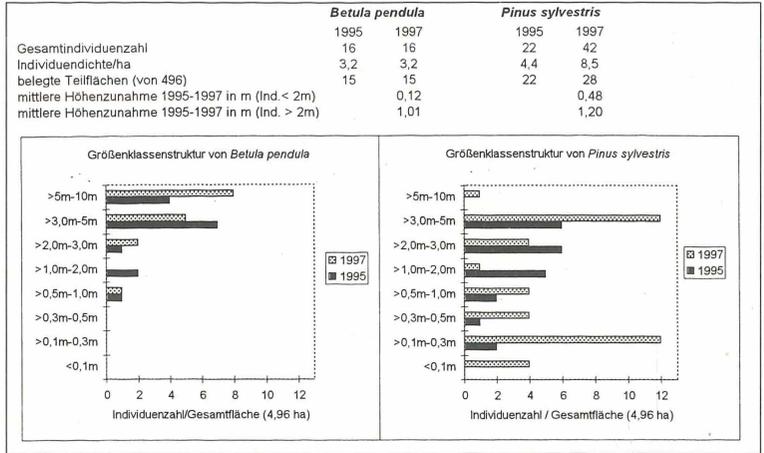
kant höhere Anzahl an Blütriemen pro Horst, die Blütrieme werden höher und der mittlere Horstdurchmesser ist mehr als viermal so groß wie der der Population auf dem Extremstandort. Außerdem konnten wir durch die individuelle Markierung der Individuen feststellen, daß sie auf den Extremstandorten ein bis zwei Jahre später in die reproduktive Phase eintreten als die Individuen der Quartärsand-Population. Die Überlebensraten der Keimlinge bis in das generative Stadium ist auf den Extremstandorten mit 5% wesentlich geringer als auf dem Quartärsand-Standort mit ca. 30 %.

4.5 Gehölzsukzession

Auf den Dauerflächen zur kleinräumigen Analyse der Vegetationsdifferenzierung wurde in der vierjährigen Beobachtungszeit nicht ein Gehölzkeimling beobachtet. Auch die großräumige Kartierung zur Gehölzsukzession zeigt insgesamt nur eine sehr langsame Erhöhung der Individuendichte und die Besiedlung von nur 1,1 % der Teilflächen mit Gehölzen im Jahr 1997 (Abb. 3). *Betula pendula* zeigte trotz fruchtender Individuen auf der Versuchsfläche überhaupt kein Verjüngung. Die Zuwächse blieben deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten (LEUSCHNER 1994). *Pinus sylvestris* fruchtete dagegen erst in den

Abb. 3
Populationsstruktur von *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* auf dem Sand-trockenrasen bei Petersroda

Fig. 3
Population structure of *Betula pendula* and *Pinus sylvestris* on the psammophyte grassland near Petersroda



letzten beiden Jahren auf dem Sandtrockenrasen bei Petersroda. Die wenigen neu etablierten Individuen werden das Bild der großflächigen gehölzarmen Sandtrockenrasenbestände nur unwesentlich beeinflussen.

5 Diskussion

5.1 Ursachen räumlicher und zeitlicher Differenzierungsprozesse von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen im Tagebauegebiet »Goitsche«

Für die Sandtrockenrasenkomplexe der gewachsenen Binnenstandorte wird unter ungestörten Bedingungen eine mehr oder weniger regelhafte Sukzessionsfolge von Silbergrasfluren über Sandtrockenrasen zu Gehölzstadien (RYCHNOVSKA-SOUDKOVA 1961, HOHENESTER 1967, BÖHNERT & REICHHOFF 1978, SYMONIDES 1985, ELLENBERG 1996) oder Abbau zu ruderalisierten Ausprägungen auf stärker anthropogen gestörten Standorten (BERGER-LANDEFELDT & SUKOPP 1965, für Militärübungsplätze Sachsen-Anhalts PETERSON mdl.) beschrieben. Lediglich für wenige Binnenstandorte (z.B. sehr mineralarme Kreidesandsteinverwitterungsböden BÖHNERT 1978, REICHHOFF & BÖHNERT 1978) werden längerfristig stabile Silbergrasfluren beschrieben.

Die in unseren Untersuchungen festgestellte deutliche Verzögerung des Sukzessionsprozesses ist nicht auf fehlende Diasporenquellen zurückzuführen, da selbst bei erhöhtem Diasporendruck potentiell abbauender Arten keine Etablierung dieser Arten erfolgte (Tab. 2, Gehölzeinsaatn vgl. TISCHEW 1996). Auch der gelegentlich vermutete Einfluß allelopathischer Flechten-Wirkstoffe als etablierungshemmender Faktor (KINDER et al. 1992) scheint nicht die aus-

schlaggebende Rolle zu spielen, da zum einem auch in den flechtenarmen Vegetationseinheiten eine Sukzessionsverzögerung zu erkennen war und zum anderen sich durchaus auch neue Individuen auf generativem Weg auf den Flächen etablieren konnten (v.a. *Corynephorus canescens*). Am ehesten wurde eine progressiver Sukzessionsverlauf gerade in den kryptogamenreichen Silbergrasfluren verzeichnet. Vielmehr sind die eingangs beschriebenen spezifischen Substratbedingungen in Kombination mit den durch Grundwasserabsenkung geprägten Standortbedingungen als Ursache der Sukzessionsverzögerung zu sehen. Diese langfristig verzögerte Progression kann auch unter einer großflächigeren Betrachtungsweise (Rasteruntersuchungen zur Gehölzentwicklung) bestätigt werden. Die äußerst niedrigen Besiedlungsdichten der potentiell abbauenden Gehölzarten *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* konnten auch durch die offensichtlich periodisch stattfindenden Etablierungsschübe nur unwesentlich erhöht werden. Dabei scheinen neben Substratunterschieden vor allem mikroreliefbedingte günstigere Bodenfeuchteverhältnisse ausschlaggebend für einen Etablierungserfolg sein. Obwohl auf den Flächen in den vergangenen Jahren keine *Betula pendula*-Verjüngung zu verzeichnen war, konnten bei ausreichender Bewässerung im Gefäßversuch selbst auf dem Extremsubstrat *Betula pendula*-Individuen etabliert werden (Dipl.arbeit HARKE, Univ. Halle). Die gleichmäßigere Verteilung von *Pinus sylvestris* auf die unteren Größenklassen weist auf eine spätere, aber auch in den vergangenen Jahren anhaltende Etablierung von Individuen dieser Art hin. Eventuell ist die zunehmende oberflächige Verdichtung der Substrate eine zusätzliche Ursache der fehlenden *Betula pendula*-Verjüngung.

Der starke Einfluß extremer Witterungsbedingungen auf die Sukzession der Sandtrockenrasen wird auch von BIERMANN & DANIELS 1997 beschrieben

(trockene Sommer und trockene, kalte Winter). Hier wird auch auf die relative Unempfindlichkeit von *C. canescens* gegenüber diesen Witterungsbedingungen hingewiesen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der standortökologisch-physiologischen Untersuchungen von BERGER-LANDEFELDT & SUKOPP 1965, die das Silbergras als eine weniger xeromorphe Art beschreiben, profitierte auch in unseren Untersuchungen das Silbergras von einer Periode trockener Sommer und kalter Winter 1995 bis 1997. Die potentiellen Konkurrenten sind offensichtlich unter den spezifischen Standortverhältnissen der Tagebaukippen noch schlechter an extreme Witterungsbedingungen angepaßt als das Silbergras. Auslöser dieser erfolgreichen Entwicklung der *C. canescens*-Populationen war jedoch der milde und feuchte keimungs- sowie etablierungsfreundliche Herbst/Winter 1994/1995. So ist die mittelfristige Zunahme von *Corynephorus canescens* in den bereits etablierten Sandtrockenrasengesellschaften nicht als generell regressive Entwicklung im Sukzessionsverlauf zu bewerten, sondern als eine Fluktuation im Ergebnis extremer Witterungsbedingungen zugunsten einer nochmaligen temporären Förderung von *C. canescens*. Diese Entwicklung unterstreicht aber die insgesamt stark verzögerte Entwicklung des Sandtrockenrasen-Komplexes auf den grundwasserfernen Mischsubstrat-Standorten des ehemaligen Braunkohlentagebaus.

Die vergleichenden Untersuchungen an den *C. canescens*-Populationen von Quartär- und Extremstandorten (Tab. 2) zeigen zugleich deutlich die geringere Vitalität der Population auf den Extremstandorten. Für festgelegte Sande wird auch für andere Standorte eine geringere Vitalität von *Corynephorus canescens* beschrieben – die hier aber mit einer Verdrängung derselben durch anspruchsvollere Arten einhergeht (MARSHALL 1967). Auf den als Extremstandorten gekennzeichneten Tagebauflächen verhindert jedoch der niedrige pH-Wert und damit die erhöhte Aluminiumtoxizität, verstärkt durch den angespannten Wasserhaushalt der Standorte und die hydrophoben Eigenschaften der Tertiär-Substrate, eine weitere Sukzession. Lediglich das Silbergras ist auf diesen Standorten lebensfähig, selbst die ansonsten anspruchlosen Kryptogamen können diese Standorte nur langsam besiedeln. Aufgrund der sowohl mittel- als auch langfristigen Stagnation der Entwicklung in diesem Stadium (vgl. Tab. 1) erscheint es uns berechtigt, den Begriff »Dauerstadium« anzuwenden. Diese Silbergrasflur-Dauergesellschaft ist aufgrund der relativ festgelegten Substratverhältnisse von den Dauerpioniergesellschaften (TÜXEN 1975) zu unterscheiden, da im letzteren Fall die Ursache der Stagnation in diesem Stadium eine dauerhafte Störung durch Substratumlagerung ist.

Die Untersuchungen zur Entwicklung von *Calamagrostis epigejos* innerhalb des Sandtrockenrasen-

Komplexes zeigen, daß dieser in seiner Grundstruktur durch eine *C. epigejos*-Invasion derzeit nicht gefährdet ist. *C. epigejos* entwickelt hier nur ein lockeres unterirdisches Ausläufernetz in der Funktion einer »Suchstrategie« (JACOB ET AL. 1996). Dabei konnte durchaus beobachtet werden, daß auf Teilflächen die Triebzahl von *C. epigejos* zugunsten von Trockenrasenarten abnehmen kann.

5.2 Schlußfolgerungen für Renaturierungskonzepte von Tagebauflächen

Für die Entwicklung von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf grundwasserferner Standorten der Tagebaufolgelandschaft eignen sich insbesondere sandige Mischsubstrate im pH-Wert-Bereich von 3,0–4,5 (Tertiäranteil von 20%–90%). Diese Standorte zeichnen sich durch eine sehr langsame Progression in der Sukzession aus, damit ist auch ohne Pflege ein längerfristiger Erhalt möglich. Bei geeigneten Diasporenquellen in der Umgebung sollten daher vor allem in ebenen Kippenbereichen auf diesen Substraten Vorrangflächen für den Naturschutz unter der Maßgabe »Spontansukzession« ausgewiesen werden. Da die initiale Besiedlung dieser Substrate sehr langsam vor sich geht (Tab. 3), muß bei der Entwicklung dieser attraktiven Vegetationseinheiten Geduld aufgebracht werden. Voreilige Eingriffe in den Sukzessionsverlauf (z.B. durch Grundmeliorationen) führen auf derartige Standorten lediglich zur Ausprägung von ruderalisierten Trockenrasen oder einer Förderung von Land-Reitgras-Dominanzbeständen. Auf Böschungstandorten ist aufgrund der erhöhten Erosionsgefahr eine Initialensetzung mit Arten der Sandtrockenrasen sinnvoll (vgl. KIRMER & MAHN 1996). Bestehende Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf Mischsubstraten sollten aufgrund der langen Entwicklungszeiträume unbedingt vor einer Zerstörung im Rahmen von zur Zeit verstärkt ablaufenden Sanierungsarbeiten bewahrt werden, denn sie stellen, neben ihrem naturschutzfachlichen Wert an sich, die wesentlichen Diasporenquellen für neue Besiedlungsprozesse in der Tagebaulandschaft dar. Gewachsene Standorte der Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen sind zumeist viel zu weit entfernt, als daß sie für Besiedlungsprozesse in mittelfristigen Zeiträumen in Frage kommen. Aufgrund des jahrzehntelangen Tagebaubetriebes in vielen Regionen ist es vielmehr sehr wahrscheinlich, daß die Arten sich auf den immer wieder vorhandenen kleineren Spontansukzessionsflächen von Kippe zu Kippe ausgebreitet haben. Das belegen Hinweise in alten Floren zu Vorkommen von Sandtrockenrasenarten auf den ersten Kippenflächen. Im Sinne eines Prozeßschutzes in der Tagebaufolgelandschaft (vgl. auch DURKA & ALTMOOS 1997) wäre daher zu fordern, auch künftig Teilbereiche einer

spontanen Besiedlung zu überlassen. Dies erscheint umso notwendiger, als durch Sanierungstagebau, Flutung, Aufforstung bzw. Eintritt der Aufforstungen in die Dickungsphase Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen in den nächsten Jahren in der Tagebaufolgelandschaft stark zurückgehen werden.

Als optimal geeignet für die Folgenutzung »Spontan-Sukzession« sind großflächige Mosaik aus Substraten unterschiedlicher geologischer Herkunft in der Nähe zu potentiellen Diasporenquellen anzusehen. Derartige Standort-Komplexe sind in der Tagebaufolgelandschaft meist vorhanden. Erste Bemühungen, dieses Konzept auch großflächig umzusetzen, befinden sich in der Initialphase. Innerhalb derartiger Substratmosaik könnten besiedlungsfreundlichere Substrate relativ schnell besiedelt werden, mittelfristig werden sich hier Gehölze etablieren und zur Strukturierung der Landschaft beitragen. Langfristig gesehen finden konkurrenzschwache Arten vor allem auf den Substraten mit höherem Tertiäranteil Rückzugsstandorte. Um Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen in ihrer offenen Struktur zu erhalten, sollten keine unnötig strukturierenden Maßnahmen (Gehölzpflanzungen – »Biotopverbund«) vorgenommen werden, da auf größeren Flächen eine erhöhte Evaporation den Gehölzaufwuchs zusätzlich verzögert.

Für die Folgenutzung »Spontan-Sukzession« sollten in der Detailplanung möglichst Standorte mit hohem Entwicklungspotential ausgewiesen werden. Wesentliche Faktoren, die hierbei beachtet werden müssen, sind neben den Standortfaktoren (v.a. Substrat, Wasserhaushalt) und dem Vorhandensein potentieller Diasporenquellen in der Umgebung vor allem auch die initiale Vegetationsentwicklung der Kippenflächen. Das Beispiel der Silbergrasfluren zeigt, daß physiognomisch ähnliche Vegetationseinheiten auf unterschiedlichen Substraten sehr differenziert zu betrachten sind. Die Silbergrasflur auf dem Quartärsubstrat zeichnet sich bereits nach drei Jahren durch einen sehr vitalen Eindruck aus. Im Gegensatz zu der im physiologischen Grenzbereich (aber auf fast konkurrenzfreien Mischsubstraten) kämpfenden weniger vitalen Population, ist aber ihr langfristiges Bestehen durch die Einwanderung von Ruderalarten und Gehölzen fraglich.

Insgesamt muß festgestellt werden, daß konkreten Planungen zur Auswahl von Naturschutzvorrangflächen in der Tagebaufolgelandschaft umfangreiche Geländeuntersuchungen und eine solide Bewertung des Entwicklungspotentials voraus gehen müssen. Dazu besteht bei der Vielzahl der möglichen Sukzessionsrichtungen noch ein hoher Forschungsbedarf.

Danksagung

Für die Unterstützung bei den aufwendigen Geländearbeiten und Auswertungen möchten wir uns bei Frau Antje Fromm (FH Anhalt) und den Herrn Philipp Brade und Thomas Schmidt (Institut für Geobotanik der Universität Halle) sehr herzlich bedanken.

Für die finanzielle Unterstützung unseres Forschungsvorhabens danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sowie dem BMBF und der LMBV im Rahmen des Forschungsverbundes Bergbaufolgelandschaften.

Literatur

- BERGER-LANDEFELDT, U. & H. SUKOPP, 1965: Zur Synökologie der Sandtrockenrasen insbesondere der Silbergrasflur. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 102: 41–98.
- BIERMANN, R. & F.J.A. DANIELS, 1997: Changes in a lichen-rich dry sand grassland vegetation with special reference to lichen synusiae and *Campylopus introflexus*. – Phytocoenologia 27 (2): 257–273.
- BÖHNERT, W., 1978: Die Vegetation des Naturschutzgebietes »Harslebener Berge – Steinholz«. – Natursch. naturkl. Heimatforsch. Bez. Halle u. Magdeburg 15: 11–23.
- BÖHNERT, W. & L. REICHHOFF, 1978: Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes »Steckby-Lödderitzer Forst«. – Hercynia N.F. 15: 106–114.
- COLEMAN, N.T., S.B. WEED & M.J.MCCRACKEN, 1959: Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina. – Proc. Soil Sci. Soc. Amerika 23: 146–149.
- DANIELS, F.J.A., J.E. SLOOF & H.T.Z. VAN DE WATERINGE, 1987: Veränderungen in der Vegetation der Binnendünen in den Niederlanden. – Wiss. Beitr. Univ. Halle 46 (P 31): 24–35.
- DURKA, W. & M. ALTMOOS, 1997: Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft als Teil einer nachhaltigen Landschaftsentwicklung am Beispiel des Südraumes Leipzig. In: RING, I. (ed.): Nachhaltige Entwicklung in Industrie- und Bergbauregionen – eine Chance für den Südraum Leipzig? Teubner-Verlag Leipzig, Stuttgart: 52–72.
- ELLENBERG, H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., Verl. Eugen Ulmer Stuttgart. 1095 pp.
- HEINKEN, T., 1990: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen offener Sandstandorte im östlichen Aller-Flachland (Ost-Niedersachsen). – Tuexenia 10: 223–257.
- HOHENESTER, A., 1967: Silbergrasfluren in Bayern. Mitt. Florist. – soziol. Arb. gem. N. F. 11/12: 11–21.

- JACOB, S., S. TISCHEW & E.-G. MAHN, 1996: Zur Rolle von *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth in den Sandtrockenrasen des Braunkohlentagebaues »Goitsche« (bei Delitzsch). – Verh. d. Ges. f. Ökol. 26: 797–806.
- KINDER, M., I. VAGTS & J. MÜLLER, 1992: Auswirkungen der Flechtenvegetation auf die Sukzession eines Sandtrockenrasens. Int. J. Mycol. Lichenol. 5: 67–76.
- KIRMER, A. & E.-G. MAHN, 1996: Verschiedene Methoden zur Initiierung von naturnaher Vegetationsentwicklung auf unterschiedlichen Böschungsstandorten in einem Braunkohlentagebau – Erste Ergebnisse. – Verh. d. Ges. f. Ökol. 26: 377–385.
- LEUSCHNER, CH., 1994: Walddynamik auf Sandböden in der Lüneburger Heide (NW-Deutschland). – Phytocoenologia 22 (3): 289–324.
- LONDO, G., 1984: The decimal scale for relevés of permanent quadrats. – In: KNAPP, R. (ed.): Sampling methods and taxon analysis in vegetation science. – Junk, The Hague, Handb. Veg. Sci. 4: 45–49.
- MAHN, E.-G. & S. TISCHEW, 1995: Spontane und gelenkte Sukzessionen in Braunkohlentagebauen – eine Alternative zu traditionellen Rekultivierungsmaßnahmen? – Verh. d. Ges. f. Ökol. 24: 585–562.
- MARSHALL, J.K., 1967: Biological Flora of the British Isles. *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv. – J. Ecol. 55: 207–222.
- MCCOOK, L. J., 1994: Understanding ecological community succession. Vegetatio 110: 115–147.
- REICHHOFF, L. & W. BÖHNERT, 1978: Zur Pflegeproblematik von Festuco-Brometea-, Sedo-Sclearanthea- und Corynephoretea-Gesellschaften in Naturschutzgebieten im Süden der DDR. – Arch. Natursch. Landschaftsforsch. 18: 81–102.
- RYCHNOVSKA-SOUDKOVA, M., 1963: *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv. (Physiologisch-ökologische Studie einer Pflanzenart). – Rozpr. Csl. Akad. Ved. 71: 1–84.
- SPITZER, M., C. TSCHÖKE & K.-G. BERNHARDT, 1995: Bedeutung trockener Straßensäume zur Ausbreitung von Sandtrockenrasenarten. – Natursch. Landschaftsplanung 27: 205–211.
- SYMONIDES, E., 1985: Population structure of psammophyte vegetation. – In: WHITE, J. (ed.): The Population Structure of Vegetation. Junk Publ. Dordrecht. 265–291.
- TÄUBER, Th., 1994: Vegetationsuntersuchungen auf einem Panzerübungsgelände im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide. Tuexenia 14: 197–228.
- TISCHEW, S., 1996: Analyse von Mechanismen der Gehölzsukzession auf Braunkohlentagebaukippen. – Verh. d. Ges. f. Ökol. 26: 407–416.
- TÜXEN, R., 1937: Die Pflanzengesellschaften Nordwest-Deutschlands. Mitt. Florist.-soziol. Arb. gem. Niedersachsen 3: 170 S.
- TÜXEN, R., 1975: Dauer-Pioniergesellschaften als Grenzfall der Initialgesellschaften. – In: SCHMIDT, W. (Red.): Sukzessionsforschung. Ber. Internat. Sympos. Internat. Verein. Vegetationskunde, Cramer, Vaduz, 13–30.
- WOLF, G., 1985: Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Schriftenreihe Vegetationskd. 16, Bonn-Bad Godesberg: 203 pp.

Adresse

Prof. Dr. Sabine Tischew
FH Anhalt / FB LÖEL
Strenzfelder Allee 28, Bernburg 06406

Prof. Dr. Ernst-Gerhard Mahn
Institut für Geobotanik und Botanischer Garten
der Universität Halle
Neuwerk 21, Halle 06108

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Tischew Sabine, Mahn Ernst-Gerhard

Artikel/Article: [Ursachen räumlicher und zeitlicher Differenzierungsprozesse von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf Flächen des mitteldeutschen Braunkohlentagebaus - Grundlagen für Renaturierungskonzepte 307-317](#)