

# Renaturierung von Kalkmagerrasen. Zur Vorhersage der gelenkten Sukzession durch Aufbringung von diasporenhaltigem Mähgut

Ulrich J. Miller und Jörg Pfadenhauer

## Synopsis

**Restoration of calcareous grasslands. Concerning the predictability of the succession by using hay deposit**

The increasing demand for reliable techniques in restoration ecology during the past years has led to a renaissance of methods, formerly used in traditional agriculture. Establishing calcareous grassland species on former arable land by using hay deposit has been tested for their efficiency as a method of restoration ecology. The investigation reveals a coincidence of species composition in hay and hay deposit fields of about 78 %. A mathematical relation between the frequency of the species in hay and on hay deposit fields can be established. For the predictability of a directed succession, the mathematical relation can be used for an estimation of the process within certain confidence limits.

*Restoration, calcareous grasslands, hay deposit, predictability*

*Renaturierung, Kalkmagerrasen, Mähgutauftrag, Vorhersage*

## 1 Einleitung

Die Wiederherstellung artenreicher Magerrasen wird in der Naturschutzpraxis zu einer wichtigen Aufgabe, da die Zielsetzungen im Biotop- und Artenschutz allein durch die Konservierung intakter Lebensräume nicht erreicht werden können (KORNECK & SUKOPP 1988). Vor diesem Hintergrund werden zunehmend Verfahren zur Renaturierung intensiv genutzter Flächen erprobt, die möglichst mit der standörtlichen Situation abgestimmt sein sollten (CAIRNS 1986, BOOTH & HUTCHINGS 1990), um ein hinsichtlich des Verfahrenseinsatzes effizientes Ergebnis zu erhalten (MARTI & STUTZ 1993).

Hierzu gehört auch die Übertragung von diasporenhaltigem Mähgut, wenn eine Besiedlung durch Aktivierung der Diasporenbank oder durch spontane Einwanderung aus angrenzenden Vegetationsbeständen unwahrscheinlich ist (MAAS 1994). Als effizient ist das Verfahren dann zu bezeichnen, wenn der Eta-

blierungsprozeß schnell stattfindet, und das im Mähgut vorhandene Artenspektrum dabei möglichst vollständig auf den Empfängerflächen nachgewiesen werden kann.

In Ansaatversuchen wird üblicherweise die Artenliste des Saatgutes mit derjenigen der Ansaatflächen verglichen, um einen Etablierungserfolg zu ermitteln (WEGELIN 1984, WELLS 1990, MOLDER & SKIRDE 1993). Entsprechend dazu müßte der Erfolg einer Mähgut-Übertragung durch einen direkten Vergleich der im Mähgut vorkommenden und der auf den Mähgut-Empfängerflächen etablierten Arten ermittelt werden. Deshalb sollen im Mähgut nur die Arten berücksichtigt werden, welche zum Zeitpunkt der Mähgutübertragung Diasporen besitzen (im folgenden als »Mähgut-Diasporen-Arten« bezeichnet), da das Material je nach dem Zeitpunkt der Gewinnung eine unterschiedliche Anzahl keimfähiger Samen enthält und auch die Artenzusammensetzung der »Mähgut-Diasporen« stark variiert.

Zumeist wird im Rahmen von Erfolgskontrollen jedoch der Vegetationsbestand der Spenderfläche, aus der das Mähgut entnommen wurde, mit derjenigen der Empfängerfläche einige Jahre nach dem Aufbringen des Mähguts verglichen (TRÄNKLE & POSCHLOD 1994, 1995).

Folgende Fragestellungen standen im Mittelpunkt der Untersuchungen:

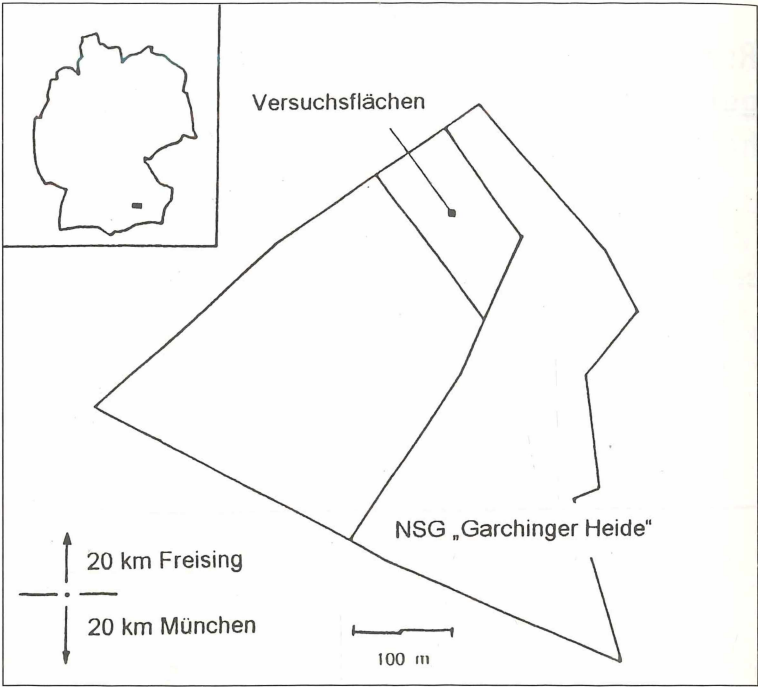
1. Wieviele und welche der Arten, die zum Zeitpunkt der Mahd Diasporen besaßen, lassen sich durch das Aufbringen dieses Mähguts auf den Empfängerflächen etablieren?
2. Welche Beziehung zwischen der Frequenz einer »Mähgut-Diasporen-Art« in der Spenderfläche und der Häufigkeit ihres Auftretens auf den Empfängerflächen ist festzustellen und läßt sich aus dieser Beziehung eine Prognose zur Etablierungswahrscheinlichkeit der eingebrachten Arten ableiten?

## 2 Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Naturraum »Münchener Schotterebene« etwa 20 km nördlich von München auf jungdiluvialen kalkreichen Niederterrassenschottern mit vorherrschend Rendzinen und flachen Braunerden als Leitböden (WITTMANN 1983).

Abb. 1  
Lage des Untersuchungs-  
gebietes.

Fig. 1  
area of research project.



Tab. 1  
Kenndaten der Empfängerflächen zum Zeitpunkt der  
Mähgutübertragung, Juli 1993, u.a. Angabe von Mittelwert  
und Standardabweichung.

Table 1  
Characteristics of hay deposit fields, time of hay deposit,  
July 1993, a.o. listed are mean and standarddeviation.

<b>Nutzung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ackerbauliche Nutzung des Flurstücks</li><li>• letzte ackerbauliche Nutzung (Sommergerste)</li><li>• Bodenbearbeitung nach letzter Ernte</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• &gt; 70 Jahre</li><li>• 1992</li><li>• keine</li></ul>
<b>Boden</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• vorherrschende Bodenart <sup>1</sup></li><li>• über tertiärem Sand aufliegender Pflugsohlenhorizont (<math>A_p</math>) in cm, <sup>1</sup></li><li>• Vol.-Verhältnis von Skelett (&lt;2mm) zu Feinboden (&lt;2mm) in <math>A_p</math>, <sup>1,3</sup></li><li>• <math>P_2O_5</math> <sup>1,2,3</sup></li><li>• <math>K_2O</math> <sup>1,2,3</sup></li><li>• org. Subst. (%) <sup>1,3</sup></li><li>• N ges. (%) <sup>1,3</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• humoser sandiger Lehm</li><li>• 30 – 40</li><li>• <math>1.02 \pm 0.66</math></li><li>• <math>42 \pm 5</math></li><li>• <math>27 \pm 5</math></li><li>• <math>5.26 \pm 0.38</math></li><li>• <math>0.32 \pm 0.02</math></li></ul>
<b>Vegetation</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gesamtdeckung Vegetation in %, <sup>1</sup></li><li>• Phytomasse in dt/ha, Zeitpunkt: 07/1993, <sup>1</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>11.9 \pm 10.4</math></li><li>• <math>9.3 \pm 7.5</math></li></ul>

<sup>1</sup>: n = 20  
<sup>2</sup>: mg/100 g Boden, (CAL-Methode)  
<sup>3</sup>: Entnahmetiefe: 0 – 30 cm

Die Bodenart ist überwiegend ein humoser sandiger Lehm mit einem sehr hohen Skelettanteil (vgl. Tab. 1). Bei einer Vegetationszeit von 210–230 Tagen und einer mittleren Jahrestemperatur von 7.5°C weist die nördliche Münchener Schotterebene ein mäßig kühles Klima auf. Dabei beträgt die durch-

schnittliche jährliche Niederschlagssumme 800–1000 mm (WITTMANN 1983).

Ein Flurstück, das über einen Zeitraum von mehr als 70 Jahre ackerbaulich bewirtschaftet wurde, diente für die Einrichtung von Mähgut-Empfängerflächen. Wie aus Tab. 1 ersichtlich ist, sind die Böden sehr ske-

Tab. 2  
Spenderflächen für Mähgutgewinnung im Naturschutzgebiet »Garchinger Heide«.

	Größe in ha	Kennzeichnung der Spenderfläche				Mahd	gewonnenes Mähgut
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>1</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	Phytomasse <sup>2</sup>	Vegetationseinheit <sup>3</sup>		
Spenderfläche 1	2.8	1.3±0.6	12±1.0	16.8±3.7	alte Heidevegetation	27.07.1993	M I
Spenderfläche 2	1.2	4.6±0.6	20±1.5	17.8±5.9	junge Heidevegetation	10.08.1993	M II
Spenderfläche 3	3.4	1.2±0.4	11±0.9	12.4±2.3	alte Heidevegetation	27.08.1993	M III

<sup>1</sup>: in mg/100 g Boden (CAL), Entnahmetiefe 0–30 cm, n=3, Mittelwert und Standardabweichung

<sup>2</sup>: in dt/ ha, Beprobungszeitpunkt vor Mahd, n=10/ha, Mittelwert und Standardabweichung

<sup>3</sup>: die Vegetationseinheiten (alte und junge Heide) im NSG ergeben sich durch die unterschiedliche zeitliche Unterschutzstellung der ursprünglichen Heidevegetation; vorherrschende Matrixarten in alter Heidevegetation sind bsp. *Carex humilis* und *C. caryophyllaea*, in junger Heidevegetation *Arrhenaterum elatius* und *Bromus erectus* (vgl. PFADENHAUER & LIEBERMANN 1986)

Table 2  
Source area for hay making in nature reserve »Garchinger Heide«.

Tab. 3  
Versuchsprogramm der Empfänger- und Kontrollflächen.

	Größe	Auftrag von Mähgut	Verhältnis von Spenderfläche zu Empfängerfläche	Konzentration des Mähguts auf EF in kg (TS)/ m <sup>2</sup>	Schichtdicke des Mähguts in cm (im Mittel)	Deckung des Mähguts in %
Empfängerfläche (EF) 1	0.8 ha	M I <sup>1</sup>	1.75 : 1	0.3	0.5	20
Kontrollfläche (KF) 1	0.8 ha					
Empfängerfläche (EF) 2	0.8 ha	M I <sup>1</sup> , M II, M III	7.50 : 1	1.1	1.5	35
Kontrollfläche (KF) 2	0.8 ha					

<sup>1</sup>: Mähgut M I wurde jeweils zur Hälfte auf EF 1 und EF 2 verteilt, ohne vorherige Homogenisierung

Table 3  
Design of hay deposit fields and control fields.

lettreich, das Volumenverhältnis von Bodenskelett (>2 mm) zu Feinboden (<2mm) beträgt im Mittel 1: 1.02. Für die Bewertung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe müssen damit die nach FINK (1989) von extrem hoch bis übersorgt bewerteten Nährstoffmengen etwa halbiert werden. Aufgrund der niedrigen nutzbaren Feldkapazität, u. a. bedingt durch geringe Niederschläge während den Sommermonaten, ist die Nährstoffverfügbarkeit zusätzlich deutlich reduziert.

Die Vegetationsdeckung der Empfängerflächen (Ackerwildpflanzen) zum Zeitpunkt der Mähgutübertragung erreichte im Mittel knapp 12 %. Damit stand ausreichend Fläche für die Etablierung von Arten zur Verfügung. Somit können die standörtlichen Voraussetzungen (trockener Standort, geringe Phytomasse) für die Wiederansiedlung von Kalkmagerrasenarten (GOUGH & MARRS 1990 a, b) als erfolgversprechend gelten.

Für die Entnahme von diasporenhaltigem Mähgut diente das Naturschutzgebiet »Garchinger Heide«, in dem 3 Spenderflächen ausgewählt wurden (vgl. Tab. 2). Zu phänologisch unterschiedlichen Zeitpunkten wurde während der Vegetationsperiode 1993 Mähgut (im folgenden mit M I, M II, M III

bezeichnet) mit einem Kreiselmähwerk geschnitten, von Hand geschwadet und mit einem Ladewagen unhomogenisiert auf zwei Empfängerflächen (EF 1, EF 2) aufgebracht, und zwar auf EF 1 einmalig, auf EF 2 dreimalig. Außerdem wurden zwei Kontrollflächen (KF 1, KF 2) eingerichtet (vgl. Tab. 2 und 3).

Für die Bestimmung des aktuellen Diasporenvorrats im Mähgut zum Zeitpunkt der Mahd wurden Vegetationsaufnahmen auf zehn 2 x 2 m großen Quadraten pro Hektar Spenderfläche durchgeführt, bei denen nur die Arten berücksichtigt wurden, die zum Zeitpunkt der Mahd Samen liefern würden (entspricht den phänologischen Klassen 7 = Vollblüte, 8 = abblühend, 9 = völlig verblüht, 10 = fruchtend, 11 = Ausstreuen der Samen, Skalierung nach DIERSCHKE (1989)). Die Verwendung der Klassen 7 und 8 zur Erfassung der Mähgut-Diasporen-Arten läßt sich damit begründen, daß sich auf Individuenebene innerhalb eines Blütenstandes einzelne Blüten in unterschiedlichen Stadien befinden können. Ebenso variierten verschiedene Individuen innerhalb eines Untersuchungsquadrates hinsichtlich ihres phänologischen Zustandes.

Außerdem wurden für Keimtests pro Hektar Spenderfläche aus fünf 0.25 m<sup>2</sup> großen Probequadra-

ten das Mähgut entnommen (Schnitthöhe ca. 4 cm). Diese Flächen sind nicht flächengleich mit denen der phänologischen Untersuchung, da sie aufgrund von Tritteinflüssen stark gestört wurden. Das Probenmaterial wurde in Styroporschalen auf ein Torf-Sand-Substrat aufgebracht und auf einem Freiland-Versuchsgelände aufgestellt. Soweit es notwendig war, wurde künstlich bewässert. Die Keimlinge wurden gezählt und nach ihrer Erfassung aus den Schalen entfernt.

Zur Abschätzung der Mähgutmassen wurden pro Hektar Spenderflächen zehn Quadrate mit einer Größe von 0.25 m<sup>2</sup> beprobt und auf Hektargröße hochgerechnet (Tab. 2).

In den Empfänger- und Kontrollflächen wurde während des Untersuchungszeitraumes von 1993–1996 zur Beschreibung der Bestandesdichte die Trockenphytomasse ermittelt (n=16/Empfängerfläche, 1 m<sup>2</sup>).

Die Vegetationsentwicklung auf den Empfänger- und Kontrollflächen wurde in jeweils zwanzig 4 m<sup>2</sup> großen, verpflöckten Quadraten erfaßt. Die Datenerhebung erfolgte im Jahr 1993 vor der ersten Mähgutaufbringung, im Zeitraum 1994–1996 während des Vegetationshöchststandes von Ende Juni bis Anfang Juli. Die verwendete Aufnahmeskala richtet sich nach PFADENHAUER & al. (1986), die Nomenklatur der Pflanzenarten nach ROTHMALER (1994).

Zur Auswertung wurde zunächst der Frequenzgrad (im folgenden mit Frequenz bezeichnet) einer

Art, d. h. ihr prozentuales Vorkommen in den Quadraten der phänologischen Untersuchung des Mähgutes und der Empfängerflächen berechnet. Eine Überprüfung der Beziehung beider Frequenzwerte erfolgte durch Korrelations- und Regressionsberechnungen. Im Fall des dreimaligen Mähgutauftrags wurde der größte Frequenzwert von M I, M II, M III für die Berechnung zugrundegelegt. Die Entwicklung der Phytomasse der Empfängerflächen wurde varianzanalytisch auf signifikante Mittelwertunterschiede untersucht.

3 Ergebnis

Erwartungsgemäß ist die absolute Anzahl eingebrachter Mähgut-Arten des dreimaligen Auftrags höher als die der einmaligen Aufbringung, wenngleich der Unterschied nicht sehr groß ist. Auffallend ist aber der geringere prozentuale Etablierungserfolg beim dreimaligen Auftrag (vgl. Tab. 4). Für die Beziehung der Frequenz einer Art im Mähgut zur Frequenz in der Empfängerfläche wurde beim einmaligen, im Vergleich zum dreimaligen Auftrag, ein höherer Korrelationskoeffizient berechnet. In beiden Fällen ist allerdings ein positiver Zusammenhang zu erkennen, d. h. je häufiger eine Art im Mähgut auftritt, desto häufiger ist ihr Vorkommen auf der Empfängerfläche. Die Frequenz mit der eine Art auf den Empfängerflächen

Tab. 4  
Übertragungserfolg des Mähgutauftrags.

Table 4  
efficiency of translocation for hay deposit.

	einmaliger Mähgutauftrag M I ⇒ EF 1	dreimaliger Mähgutauftrag M I, M II, M III ⇒ EF 2
Etablierungszeitraum <sup>(1)</sup>	ca. 2 Jahre	
Anzahl der durch phänologische Untersuchung im Mähgut nachgewiesenen Arten	44	55
Anzahl der durch Keimtests im Mähgut nachgewiesenen Arten, die in phänologischer Untersuchung fehlen	3	1
Anzahl der insgesamt nachgewiesenen Arten	47	56
Anzahl der auf Empfängerflächen etablierten Arten	39	41
Etablierungserfolg der durch Mähgut eingebrachten Arten	83 %	73 %
Beziehung von Frequenz einer Art in phänologischer Untersuchung im Mähgut zu ihrer Frequenz auf den Empfängerflächen	r = 0.62, p = 0.000	r = 0.45, p = 0.003
Frequenz einer Art auf Empfängerfläche (y) ist eine lineare Funktion der Frequenz der Art (x) in phänologischer Untersuchung	y = 3.57 + 0.926 * x p = 0.000	y = 19.7 + 0.49 * x <sup>(2)</sup> p = 0.003
<sup>(1)</sup> : ermittelt durch Veränderung der Artenliste der Empfängerflächen aufgrund der Etablierung von Mähgut-Arten, Zeitraum 1994–1996		
<sup>(2)</sup> : für die Regressionsgleichung zugrundegelegt ist der größte Frequenzwert aus M I, M II, M III einer Art (vgl. Tab. 5)		
M I: Mähgut aus Spenderfläche 1, M II: Mähgut aus Spenderfläche 2, M III: Mähgut aus Spenderfläche 3, EF 1: Empfängerfläche 1, EF 2: Empfängerfläche 2		



Tab. 5  
Frequenz (%) der »Mähgut-Diasporen-Arten« in Empfängerflächen (EF 1, EF 2) und in Mähgutspenderflächen (phänologische Untersuchung). Artenliste ohne Arten der Ackerbrache. Gruppen 1–8 geordnet nach Vorkommen und Fehlen einer Art in Empfängerflächen und phänologischer Untersuchung.

Gruppe	Art	einmaliger Mähgutauftrag		dreimaliger Mähgutauftrag			
		Mähgut M I	Empfängerfläche EF1	Mähgut M I	Mähgut M II	Mähgut M III	Empfängerfläche EF2
1	Agrimonia eupatoria	4	5	4	21		30
	Anthyllis vulneraria	25	30	25	17		30
	Arenaria serpyllifolia	50	60	50	50		40
	Asperula tinctoria	4	35	4	8	9	5
	Betonica officinalis	18	5	18	25	6	10
	Biscutella laevigata	4	5	4			5
	Bromus erectus	36	25	36	46	15	70
	Bupthalmum salicifolium	39	45	39			15
	Centaurea jacea	14	5	14	17	12	15
	Centaurea scabiosa	29	65	29	38	82	90
	Coronilla vaginalis	7	5	7	13		25
	Dorycnium germanicum	61	10	61		24	10
	Festuca rupicola	7	10	7	42	3	75
	Filipendula vulgaris	7	10	7	13		55
	Galium boreale	7	5	7	4	12	15
	Galium mollugo	25	5	25	8	9	60
	Genista tinctoria	14	65	14	50		70
	Helianthemum nummularium	100	100	100	4	65	5
	Koeleria pyramidata	14	5	14	42	24	30
	Linum perenne	75	95	75	83	9	100
	Lotus corniculatus	50	70	50	21	62	90
	Medicago lupulina	7	20	7	8		5
	Plantago media	50	40	50	17		20
	Poa trivialis	11	15	11	8	6	65
	Rhinanthus glacialis	79	80	79	25	15	80
	Salvia pratensis	11	10	11	4		5
	Trifolium montanum	21	10	21	17	12	30
2	Asperula cynanchica		5			3	5
	Campanula rotundifolia		5		4		5
	Trifolium campestre		55		8		100
3	Globularia cordifolia	7	5	7		35	
	Globularia punctata	7	5	7		6	
	Hippocrepis comosa	7	20	7			
	Leontodon hispidus	7	15	7	8		
	Leontodon incanus	11	10	11			
	Linum catharticum	14	10	14			
	Polygala comosa	21	10	21			
	Prunella grandiflora	4	5	4	4		
	Scabiosa columbaria	7	5	7		3	
4	Anthericum ramosum	86		86	4	26	5
	Galium verum	4		4	17	12	30
	Peucedanum oreoselinum	71		71	42	100	95
5	Achillea millefolium				42		40
	Arrhenaterum elatius				17		25
6	Dactylis glomerata				17		15
	Euphrasia rostkoviana					6	35
	Plantago lanceolata				13		15
	Poa pratensis				4		10
	Sanguisorba minor				4	6	10
7	Crepis biennis						5
8	Briza media	7		7			
	Dianthus carthusianorum					6	
	Euphorbia brittingeri	7		7		3	
	Polygonatum odoratum	21		21			
	Teucrium montanum	36		36			
	Thymus praecox	7		7		6	

Table 5  
Frequency (%) of »hay-diaspore-species« in hay deposit fields (EF 1, EF 2) and source area of hay making (phenological investigation). In the list not included are the species of fallow. Groups were put in classes 1–8 by data of species of absence and presence on hay deposit fields and source area of hay making.

Gruppe	Art	einmaliger Mähgutauftrag		dreimaliger Mähgutauftrag			
		Mähgut M I	Empfängerfläche EF1	Mähgut M I	Mähgut M II	Mähgut M III	Empfängerfläche EF2
1	Agrimonia eupatoria	4	5	4	21		30
	Anthyllis vulneraria	25	30	25	17		30
	Arenaria serpyllifolia	50	60	50	50		40
	Asperula tinctoria	4	35	4	8	9	5
	Betonica officinalis	18	5	18	25	6	10
	Biscutella laevigata	4	5	4			5
	Bromus erectus	36	25	36	46	15	70
	Bupthalmum salicifolium	39	45	39			15
	Centaurea jacea	14	5	14	17	12	15
	Centaurea scabiosa	29	65	29	38	82	90
	Coronilla vaginalis	7	5	7	13		25
	Dorycnium germanicum	61	10	61		24	10
	Festuca rupicola	7	10	7	42	3	75
	Filipendula vulgaris	7	10	7	13		55
	Galium boreale	7	5	7	4	12	15
	Galium mollugo	25	5	25	8	9	60
	Genista tinctoria	14	65	14	50		70
	Helianthemum nummularium	100	100	100	4	65	5
	Koeleria pyramidata	14	5	14	42	24	30
	Linum perenne	75	95	75	83	9	100
	Lotus corniculatus	50	70	50	21	62	90
	Medicago lupulina	7	20	7	8		5
	Plantago media	50	40	50	17		20
	Poa trivialis	11	15	11	8	6	65
	Rhinanthus glacialis	79	80	79	25	15	80
	Salvia pratensis	11	10	11	4		5
	Trifolium montanum	21	10	21	17	12	30
2	Asperula cynanchica		5			3	5
	Campanula rotundifolia		5		4		5
	Trifolium campestre		55		8		100
3	Globularia cordifolia	7	5	7		35	
	Globularia punctata	7	5	7		6	
	Hippocrepis comosa	7	20	7			
	Leontodon hispidus	7	15	7	8		
	Leontodon incanus	11	10	11			
	Linum catharticum	14	10	14			
	Polygala comosa	21	10	21			
	Prunella grandiflora	4	5	4	4		
	Scabiosa columbaria	7	5	7		3	
4	Anthericum ramosum	86		86	4	26	5
	Galium verum	4		4	17	12	30
	Peucedanum oreoselinum	71		71	42	100	95
5	Achillea millefolium				42		40
	Arrhenaterum elatius				17		25
6	Dactylis glomerata				17		15
	Euphrasia rostkoviana					6	35
	Plantago lanceolata				13		15
	Poa pratensis				4		10
	Sanguisorba minor				4	6	10
7	Crepis biennis						5
8	Briza media	7		7			
	Dianthus carthusianorum					6	
	Euphorbia brittingeri	7		7		3	
	Polygonatum odoratum	21		21			
	Teucrium montanum	36		36			
	Thymus praecox	7		7		6	

auftritt, ist aus ihrer Frequenz im Mähgut anhand linearer Regressionsgeraden zu prognostizieren (vgl. Tab. 4).

Nicht etablierte Arten, aber nach Nachweis in phänologischer Untersuchung potentiell übertragbare Arten, oder solche, die sich ohne phänologischen Nachweis auf den Empfängerflächen ansiedelten, sind in Tab. 6 mit den Ergebnissen ihrer Keimtestuntersuchungen und den Erhebungsmerkmalen der phänologischen Untersuchung dargestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse der phänologischen Untersuchung mit denen der Keimtests ergibt drei Kombinationsmöglichkeiten:

- Arten wurden nur in Keimtests nachgewiesen (Bsp. Gruppe 2 in M I).
- Arten wurden nur in phänologischer Untersuchung nachgewiesen (Bsp. Gruppe 4 in M I)
- Arten wurden in Keimtests und phänologischer Untersuchung nachgewiesen (Bsp. Gruppe 3 in M I)

Tab. 6  
Nachweis von »Mähgut-Diasporen-Arten« in Keimtestuntersuchungen (n = Nachweis). Spektrum der generativen phänologischen Klassen der »Mähgut-Diasporen-Arten« in Mähgutspenderflächen (7=Vollblüte, 8=abblühend, 9= völlig verblüht, 10=fruchtend, 11=Ausstreuen der Samen, nach DIERSCHKE 1989).

4 Diskussion

Mit einem durchschnittlichen Etablierungserfolg von 78 % der im Mähgut durch Keimtests und phänologische Aufnahme nachgewiesenen Arten liegt das Ergebnis über den aus der Literatur bekannten Größenordnungen. So konnten KIRMER & MAHN (1996) im ersten Jahr nach erfolgtem Mähgutauftrag 65 % der durch Keimtests nachgewiesenen Arten auf Böschungsstandorten (Quartär-Substrat) in einem Braunkohletagebau feststellen. Ähnliche Ansiedlungserfolge von 50–60 % konnte TRÄNKLE (1995) mit Einsatz von Halbtrockenrasenmähgut zur Vegetationsinitiation in Kalksteinbrüchen nachweisen. Allerdings waren Standort, Struktur und Verfahren des Mähgutauftrags sowohl bei TRÄNKLE (1995) als auch bei KIRMER & MAHN (1996) anders als in vorliegender Studie. So boten beispielsweise die Empfängerflächen in vorliegender Untersuchung durch die bereits etablierte Brachevegetation von vorneherein mehr Schutzstellen (*safe-sites*) für eine erfolgreiche

Table 6  
Presence of »hay-diaspore-species« in germination tests. (n = indication). Generative phenological scaled spectrum of »hay-diaspore-species« in source of hay making (7=flowering, 8=deflorating, 9= complete deflorated, 10=set fruit, 11=dispersal, scaling by DIERSCHKE 1989).

Gruppe (vergl. Tab. 5)	Art	Nachweis in Keimtests von Mähgut			phänologische Klassen in Mähgut		
		M I	M II	M III	M I	M II	M III
2	Asperula cynanchica	■		■			10
	Campanula rotundifolia	■	■			9	
	Trifolium campestre	■				10	10
3	Globularia cordifolia	■			10		9–10
	Globularia punctata	■		■	10		9–10
	Hippocrepis comosa	■			10		
	Leontodon hispidus	■			11	10	
	Leontodon incanus	■			9–11		
	Linum catharticum	■			9		
	Polygala comosa	■			8		
	Prunella grandiflora	■			8	7	
	Scabiosa columbaria	■	■	■	10		
4	Anthericum ramosum		■	■	7	10	9–10
	Galium verum		■	■	7	10	10
	Peucedanum oreoselinum		■	■	7	10	10
7	Crepis biennis		■				
8	Briza media				10		
	Dianthus carthusianorum			■			10
	Euphorbia brittingeri				10		
	Polygonatum odoratum				10		
	Teucrium montanum				8–9		
	Thymus praecox	■	■		8		10

Tab. 7  
Phytomasse der Empfängerflächen in dt/ha. Angabe des Mittelwertes, Standardabweichung und signifikante Differenz beider Versuchsflächen (ANOVA, Tukey-HSD-Test, 0.05 Signifikanzniveau).

	1994	1995	1996
Empfängerfläche EF 1	23.3 ± 13.7	11.0 ± 4.5	15.6 ± 6.3
Empfängerfläche EF 2	19.5 ± 10.8	39.2 ± 8.4	20.1 ± 4.5
sign. Diff. EF 1 – EF 2		*	*

Etablierung auf, als die vegetationsfreien Flächen im Braunkohletagebau oder in einem Steinbruch. Somit hatte eine dünne Schicht Mähgut auf der Ackerbrache, zusammen mit den durch die Brachevegetation gebotenen Schutzstellen, diesselben Auswirkungen für eine Keimung und Etablierung, wie dickere Schichtauflagen auf vegetationsfreien Flächen (vgl. 5–10 cm Schichtdicke bei KIRMER & MAHN 1996 und Tab. 3). Allerdings werden bei zu dicker Schichtauflage des Mähguts negative Einflußfaktoren wirksam (MILLER, nicht veröff. Daten). Die auf einer dickeren Mähgutschicht aufliegenden Samen können zwar keimen, ihre Keimwurzeln erreichen aber nicht die Bodenoberfläche und sterben ab. Vergleichbares konnte MAAS (1988) bei Keimungs- und Etablierungsexperimenten von Streuwiesenpflanzen mit größeren Samen feststellen. In Magerrasenbeständen ist nach SILVERTOWN & DICKIE (1981) die Austrocknung von Keimlingen der wichtigste etablierungslimitierende Faktor.

Das Ergebnis, daß sich Arten auf Empfängerflächen etablierten, deren Nachweis nur durch Keimtests erfolgte (Artengruppe 2 in M I und Artengruppe 7 in M II, vgl. Tab. 6), obwohl dabei eine im Vergleich zu den phänologischen Aufnahmen deutlich geringere Stichprobengröße vorlag, eröffnet die Frage nach dem Stichprobenumfang für die phänologische Aufnahme zur Erfassung der Grundgesamtheit der Mähgut-Diasporen-Arten (vgl. SACHS 1971). Die Ergebnisse zeigen jedoch, daß die kumulative Stichprobengröße von phänologischer Untersuchung und Keimtests für alle Arten ausreichend war, nicht jedoch die alleinige Stichprobengröße der phänologischen Aufnahme, die möglicherweise nur knapp unterschritten wurde.

Auf den Empfängerflächen nicht etablierte Arten hatten vermutlich keine keimfähigen Diasporen im Mähgut, obwohl sie in der phänologischen Aufnahme im Zustand der Vollblüte als potentiell übertragbar klassifiziert wurden. Diese Vermutung wird bestätigt durch die Ergebnisse der Keimtests (Bsp. Artengruppe 4 in M I, vgl. Tab. 6). Befanden sich jedoch Arten des Mähguts im abblühenden Zustand, konnten sie in den Keimtests nachgewiesen werden. Daher können die Arten, die

Table 7  
Phytomass of hay deposit fields in dt/ha. Mean, standard deviation and significant difference between the two hay deposit fields (ANOVA, Tukey-HSD-Test, 0.05 level of significance).

phänologisch als »abblühend« bis »fruchtend« klassifiziert wurden, als übertragungsfähig eingestuft werden.

Weitaus schwieriger ist die Interpretation der Ergebnisse, wenn den phänologischen Aufnahmen und den Keimtests entsprechend Diasporen übertragen wurden, die Arten aber nur auf einer Empfängerfläche vorkamen (z.B. Artengruppe 3, Tab. 5) oder sogar auf beiden Empfängerflächen fehlten. Für das Fehlen auf nur einer Empfängerfläche könnte die Ursache darin liegen, daß das Mähgut M I jeweils zur Hälfte auf Empfängerfläche (EF) 1 und Empfängerfläche 2 aufgetragen wurde, ohne vorher homogenisiert worden zu sein. So ist nicht auszuschließen, daß die Samen bestimmter Arten nur auf EF 1 gelangten. Wahrscheinlicher ist aber ein Dichteeffekt: Da der Vegetationsaufwuchs auf EF 2 signifikant dichter war als auf EF 1 (vgl. Tab. 7), können v. a. niedrigwüchsige und konkurrenzschwache Arten wie *Globularia cordifolia* und *Globularia punctata* Probleme bei Keimung und Etablierung bekommen. Diese Annahme wird durch das Ergebnis verstärkt, daß mehrere Arten dieser Gruppe auch im Mähgut M II und M III vorhanden waren, sie müssen also auf EF 2 übertragen worden sein.

Fehlen Arten auf beiden Empfängerflächen obwohl sie im Mähgut nachgewiesen wurden (Bsp. Gruppe 8), so ist vermutlich die Ursache in der ausschließlichen Übertragung auf Empfängerfläche 2 mit dem damit verbundenen Dichteeffekt zu sehen: Ist der Bestand für die Keimung und Entwicklung der eingebrachten Arten zu dicht, wie dies auf Empfängerfläche 2 anzunehmen ist (vgl. Tab. 7), wurde entweder die Keimung verhindert oder das weitere Wachstum unterdrückt, sofern die Arten keimten. Zwar konnten WELLS & al. (1981) aufzeigen, daß der Keimungsprozeß von eingebrachten Arten durch eine vorhandene Vegetationsschicht (*nurse crop*) begünstigt wird. Allerdings entscheidet die Dichteentwicklung dieser Vegetationsschicht darüber, ob eine Etablierung der eingebrachten und gekeimten Arten stattfinden kann, wie auch Untersuchungen von MILES (1974) belegen. Danach können sich die für die Keimung positiven Auswirkungen einer Schutzstelle im Laufe der weiteren Entwicklung durch zunehmende Konkurrenz negativ auf die etablierte Art auswirken.



Obwohl vorliegende Untersuchung zur Wiederansiedlung von Magerrasenarten mit den aus der Literatur bekannten Etablierungsstudien (WATHERN & GILBERT 1978, VAN TOOREN & al. 1987) nicht genau vergleichbar ist, können doch aus den Ergebnissen einige allgemeine Schlußfolgerungen gezogen werden. So weist beispielsweise BAKKER (1989) im Rahmen von Renaturierungsvorhaben darauf hin, daß die Bestandesdichte die Keimung und Entwicklung der eingebrachten Arten maßgeblich beeinflußt. In vorliegendem Experiment liegt der Grenzwert der Bestandesdichte, ab der eine Keimung und Etablierung verhindert wird, zwischen den ermittelten Bestandesdichten von Empfängerfläche 1 und Empfängerfläche 2.

Der vorliegenden Untersuchung lag die Frage zu Grunde, ob aus der phänologischen Untersuchung des Mähguts die Etablierung von Arten auf den Empfängerflächen prognostiziert werden kann. Eine in den Spenderflächen ermittelte phänologische Aufnahme hätte den Vorteil eines geringeren Zeit- und Mittelaufwandes im Vergleich zu Keimtestuntersuchungen. Erwartungsgemäß zeigen die Ergebnisse einen positiven Zusammenhang zwischen der Frequenz der Arten auf Empfängerflächen und den phänologischen Aufnahmen (Tab. 4). Auffallend ist der hohe Korrelationskoeffizient ( $r=0.62$ ) der Frequenz einer Art in Mähgut und Empfängerfläche des einmaligen Mähgutauftrags, im Vergleich zu dem wesentlich niedrigeren Koeffizienten bei dreimaligem Auftrag ( $r=0.45$ ). Das Fehlen von Arten der Gruppen 3 und 8, also ein geringerer prozentualer Etablierungserfolg, dürfte hierfür verantwortlich sein.

Wie die Regressionen in Tab. 4 zeigen, ist die zu erwartende Frequenz einer Art auf den Empfängerflächen von derjenigen der phänologischen Untersuchung des Mähguts linear abzuleiten. Wollte man allerdings ein tragfähiges und über dieses Experiment hinausgehendes Prognosemodell entwickeln, müßten die diskutierten Faktoren, ergänzt durch weitere Kenndaten zu Standort, Verfahren und Pflanzenart, modellgerecht operationalisiert werden. Nach BOX (1981) könnte eine Optimierung des Modells über eine ständige Validierung mittels neu hinzukommender Untersuchungen erfolgen, und umgekehrt könnten Untersuchungen zu unterschiedlichen Fragestellungen und Untersuchungsebenen bei einem vorliegenden Modell präziser geplant werden, eine in jüngerer Zeit zunehmende Forderung einer prognostischen ökologischen Forschung (PETERS 1991).

## Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen erfolgten im Rahmen des E+E-Vorhabens zur »Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München«, das vom Bundesumweltministerium finanziell unterstützt wird. (Tit. 892 11)

## Literatur

- BAKKER, J.P., 1989: Nature management by grazing and cutting. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston, London
- BOOTH, K.D. & M.J. HUTCHINGS, 1990: A study of the feasibility of re-establishment of chalk grassland vegetation following arable cultivation – In: HILLIER, WALTON, WELLS (ed) *Calcareous grasslands. Ecology and management.* – Bluntisham Books, Huntingdon, pp. 173
- BOX, E.O., 1981: Macroclimate and plant forms. An introduction to predictive modeling in phytogeography. – Verl. Junk TheHague
- CAIRNS, J., 1986: Restoration, reclamation and regeneration of degraded or destroyed ecosystems. – In: SOULE (ed) *Conservation biology. The science of scarcity and diversity.* – Sinauer Associates, Inc. Sunderland Massachusetts, 465–484
- DIERSCHKE, H., 1989: Symphänologischer Aufnahme- und Bestimmungsschlüssel für Blütenpflanzen und ihre Gesellschaften in Mitteleuropa. – *Tuexenia* 9: 477–484
- FINK, A., 1989: Dünger und Düngung. – Verlag Chemie, Weinheim
- GOUGH, M.W. & R.H. MARRS, 1990 a: A comparison of soil fertility between seminatural and agricultural plant communities: Implications for the creation of species-rich grassland on abandoned agricultural land. – *Biol. Conserv.* 51, 83–96
- GOUGH, M.W. & R.H. MARRS, 1990 b: Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex, England. *Biol. Conserv.* 52, 135–146
- KIRMER, A. & E.G. MAHN, 1996: Verschiedene Methoden zur Initiierung von naturnaher Vegetationsentwicklung auf unterschiedlichen Böschungsstandorten in einem Braunkohlentagebau – Erste Ergebnisse. – *Verh. Ges. Ökol.*, 26: 377–385
- KORNECK, D. & H. SUKOPP, 1988: Rote Liste der in der Bundesrepublik Deutschland ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen und ihre Auswertung für den Arten- und Biotopschutz. – *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, 19: 210 S.
- MAAS, D., 1988: Keimung und Etablierung von Streuwiesenpflanzen nach experimenteller Ansaat. – *Natur und Landschaft*, 63 (10): 411–415



- MAAS, D., 1994: Biotopverbund für Pflanzengemeinschaften. Möglichkeiten und Grenzen anhand eines Beispiels aus der Münchner Schotterebene. – *Natur und Landschaft* 69 (2): 54–61
- MARTI, F. & H. P. STUTZ, 1993: Zur Erfolgskontrolle im Naturschutz. – Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 171 S.
- MILES, J., 1974: Effects of experimental interference with stand structure on establishment of seedlings in *Callunetum*. – *J. Ecol.* 62: 675–687
- MOLDER, F. & W. SKIRDE, 1993: Entwicklung und Bestandsdynamik artenreicher Ansaaten. – *Natur und Landschaft*, 68 (4): 173–180
- PETERS, R. H., 1991: A critique for ecology. – Cambridge University Press: 366 p.
- PFADENHAUER, J. & C. LIEBERMANN, 1986: Eine geobotanische Dauerbeobachtungsfläche im Naturschutzgebiet Garchinger Heide. – *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 57: 99–110
- PFADENHAUER, J., POSCHLOD, P. & R. BUCHWALD, 1986: Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil 1, Methodik der Anlage und Aufnahme. – *Ber. ANL, Laufen* 10: 41–60
- ROTHMALER, W., 1994: Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen. Grundband. – Gustav Fischer Verlag, Jena: 640 S.
- SACHS, L., 1971: Statistische Auswertungsmethoden. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: 545 S.
- SILVERTOWN, J.W. & J.B. DICKIE, 1981: Seedling survivorship in natural populations of nine perennial chalk grassland plants. – *New Phytol.* 88: 555–558
- TRÄNKLE, U. & P. POSCHLOD, 1994: Vergleichende Untersuchungen zur Sukzession von Steinbrüchen unter besonderer Berücksichtigung des Naturschutzes. Erste Ergebnisse zum Einfluß der Umgebungsvegetation auf die Vegetationsentwicklung und zur gelenkten Sukzession mit Hilfe von Mähgut. – *Veröff. PAÖ*, 8: 353–367
- TRÄNKLE, U. & P. POSCHLOD, 1995: Vergleichende Untersuchungen zur Sukzession von Steinbrüchen unter besonderer Berücksichtigung des Naturschutzes. Ergebnisse und Schlußfolgerungen. – *Veröff. PAÖ*, 12: 167–178
- TRÄNKLE, U., 1995: Vergleichende Untersuchungen zur Sukzession von Steinbrüchen in Südwestdeutschland und neue Ansätze für eine standorts- und naturschutzgerechte Renaturierung. – Diss. Fakultät II, Universität Hohenheim: 299 S.
- VAN TOOREN, B.F., DURING, H.J. & M.J.G. LENSINK, 1987: The influence of the bryophyte layer on the microclimate in chalk grasslands. – *Abstr. Bot.* 9: 219–230
- WATHERN, P. & GILBERT, O.L., 1978: Artificial diversification of grassland with native herbs. – *J. Environ. Manage.* 7: 487–497
- WEGELIN, T., 1984: Schaffung artenreicher Magerwiesen auf Straßenböschungen. – Veröffentlichungen des Geobotanischen Instituts der ETH, Stiftung Rübel, Zürich, Heft 82
- WELLS, T., BELL, S. & A. FROST, 1981: Creating attractive grasslands using native plant species. – Nature Conservancy Council, Shrewsbury
- WELLS, T.C.E., 1990: Establishing chalk grassland on previously arable land using seed mixtures. – In: HILLIER, WALTON, WELLS (ed) *Calcareous grasslands. Ecology and management*. – Bluntisham Books, Huntingdon, pp. 173
- WITTMANN, O., 1983: Standortliche Landschaftsgliederung von Bayern. – Bayerisches Geologisches Landesamt, München

### Adresse

Dipl.-Ing. Ulrich J. Miller  
 Prof. Dr. Jörg Pfadenhauer  
 Technische Universität München  
 Lehrstuhl für Vegetationsökologie  
 D-85350 Freising

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [27\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Pfadenhauer Jörg, Miller Ulrich J.

Artikel/Article: [Renaturierung von Kalkmagerrasen. Zur Vorhersage der gelenkten Sukzession durch Aufbringung von diasporenhaltigem Mähgut 155-163](#)