



Vol. 2
2005/2006

FORUM GEOBOTANICUM

An Electronic Journal of Geobotanical Research

Daniela Röder, Michael Jeschke, Kathrin Kiehl

Vegetation und Böden alter und junger Kalkmagerrasen im Naturschutzgebiet
"Garching Heide" im Norden von München

Vegetation and soils of ancient and young calcareous grasslands in the nature reserve
"Garching Heide"

pp 24 - 44

DOI 10.3264/FG.2006.1013



FORUM GEOBOTANICUM

An Electronic Journal of Geobotanical Research

ISSN 1867-9315

www.forum-geobotanicum.net

Board of Editors:

Prof. Dr. Detlev Drenckhahn, Publisher

Institut für Anatomie und Zellbiologie
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Koellikerstr. 6
D-97070 Würzburg
Tel. +49 (0)931 312702
Fax +49 (0)931 312712
contact@forum-geobotanicum.net

Dr. Franz G. Dunkel

Karlstadt

Prof. Dr. Lenz Meierott

Gerbrunn

Prof. Dr. Jörg Ewald

Weihenstephan

Dr. Franz Schuhwerk

München

Daniela Röder*, Michael Jeschke, Kathrin Kiehl
Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Technische Universität München

Vegetation und Böden alter und junger Kalkmagerrasen im Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“ im Norden von München

Vegetation and soils of ancient and young calcareous grasslands in the nature reserve “Garchinger Heide” (Bavaria, Germany)

Published online: 13. Oktober 2006
© Forum geobotanicum 2006

Abstract

The nature reserve „Garchinger Heide“ north of Munich (Bavaria, Germany) is a remnant of the formerly widespread calcareous grasslands of the Munich Gravel Plain on dry, nutrient-poor calcareous Regosol soils with low water-storage capacity. Most of the nature reserve is covered by species-rich ancient grasslands with a high proportion of species of the *Mesobromion erecti* and *Cirsio-Brachypodion*. At the “Rollfeld”, a planned runway, where topsoil was removed in 1945, vegetation cover is lower and the proportion of species of the *Xerobromion*, *Sedo-Scleranthetea* and *Seslerietalia albicantis* is higher than on the ancient grasslands due to low water-availability and low nutrient contents. In 2003, the number of ancient grassland species, which have successfully established on the topsoil-removal site, was higher than in vegetation descriptions from 1956 and 1986. On an ex-arable field within the nature reserve, which was last ploughed in 1959, several species of the *Molinio-Arrhenatheretea* were still found in 2003. In comparison to 1986, however, the number of species of the *Mesobromion erecti* and *Cirsio-Brachypodion* was higher and the vegetation has become more similar to the ancient grassland vegetation. This positive development was also reflected in the soil analyses; the contents of exchangeable P_2O_5 and K_2O in the soil of the ex-arable field have decreased considerably during the last 12 years.

Keywords: calcareous grassland, topsoil removal, ex-arable field, vegetation, soil nutrients

Zusammenfassung

Das Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“ ist ein Relikt der ehemals ausgedehnten Kalkmagerrasen auf Pararendzinen über Niederterrassenschotter im Alpenvorland. Bei jahrhundert langer extensiver Landnutzung hat sich auf trockenen nährstoffarmen Böden eine artenreiche Vegetation mit zahlreichen seltenen und gefährdeten Arten entwickelt. Die „Altheide“, welche den größten Teil des Naturschutzgebiets einnimmt, ist geprägt durch flach gründige, nährstoffarme Böden, welche eine geschlossene Vegetation mit einem hohen Anteil an Arten der Halbtrockenrasen (hauptsächlich *Mesobromion erecti* und *Cirsio-Brachypodion*) tragen. Das 1945 durch Oberbodenabtrag begonnene, aber nicht mehr ausgebaute und verwendete „Rollfeld“ weist einen niedrigen Feinbodenanteil, welcher auf eine geringe Wasserverfügbarkeit schließen lässt, sowie niedrige Gehalte an Gesamtstickstoff und CAL-austauschbarem P_2O_5 auf. Die Vegetation ist lückig mit einem hohen Anteil an Trockenrasenarten (*Xerobromion*, *Sedo-Scleranthetea*, *Seslerietalia albicantis*). Das heutige Vorkommen zahlreicher Arten, welche in früheren Untersuchungen (1956 und 1986) nicht gefunden wurden, lässt auf eine fortschreitende Sukzession der Vegetation des Rollfeldes hin zu der der Altheide schließen. Der 1959 zum Naturschutzgebiet hinzu gekaufte ehemalige Acker unterscheidet sich immer noch deutlich von der Altheide. Eine allmähliche Annäherung der Standortbedingungen ist jedoch zu beobachten. So sanken die Gehalte an CAL-austauschbarem P_2O_5 und K_2O im Vergleich zu Werten aus dem Jahr 1993 deutlich ab. Trotz des immer noch hohen Anteils an Grünlandarten (*Molinio-Arrhenatheretea*) konnten sich im Vergleich zu 1986 mehr Magerrasenarten etablieren.

Einleitung

Mitteuropäische Kalkmagerrasen, die auch als Grasheiden bezeichnet werden, gehören zu den Vegetationstypen mit der höchsten kleinräumigen Artenvielfalt (alpha-Diversität) der Welt (Peet et al. 1983, Willems et al. 1993). Durch die Änderung der Landnutzung im 20. Jahrhundert ging jedoch ein Großteil der ehemals ausgedehnten Magerrasen verloren (Willems 2001, Pfadenhauser 2002, Poschlod und WallisDeVries 2002). Die heutigen Kalkmagerrasenreste sind stark fragmentiert und

*Korrespondierende Autorin:

Daniela Röder
Am Hochanger 6
85350 Freising
roederd@wzw.tum.de
Tel.: +49-8161-714142
Fax: +49-8161-714143

liegen isoliert in einer zumeist stark genutzten Agrarlandschaft (Quinger et al. 1994; Ringler 2002). Die Kalkmagerrasen der Mittelgebirge (z.B. Fränkische und Schwäbische Alb) wurden überwiegend aufgefördert bzw. der Sukzession überlassen (Beinlich und Manderbach 1995, Bender et al. 2005). Ein Teil der Flächen am Rand von Ortschaften ist heute bebaut (Bender et al. 2005). Die meisten Kalkmagerrasen auf den würmeiszeitlichen Schmelzwasserschottern des Voralpenlandes am Lech oder an der Isar wurden mit Hilfe moderner Geräte und Düngemethoden in Ackerland umgewandelt oder im Zuge des Kiesabbaus zerstört (Vollmann 1911, Riemenschneider 1956). Im Naturschutzgebiet „Garching Heide“ konnten 27 Hektar der ehemals ausgedehnten Kalkmagerrasen im Norden von München durch die Initiative der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zu Beginn des 20. Jahrhunderts vor dem Umbruch in Ackerland gerettet werden.

Die Vegetation der „Garching Heide“ besteht aus subkontinentalen, ursprünglich beweideten Magerrasen mit submediterranen, dealpinen und pontischen Florenelementen (Vollmann 1911, Liebermann 1986). Aufgrund dieser Kombination stuft Kaufhold (1990) diese Grasheiden als international bedeutsam ein. Sie sind nach Art. 20c Bundesnaturschutzgesetz und Art. 13d Bayerisches Naturschutzgesetz geschützte Standorte (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2000), gehören zum Lebensraumtyp 6210 gemäß Anhang I der FFH-Richtlinie (Lang et al. 2004) und gelten als stark gefährdet nach der Roten Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands (Rennwald 2000). Mehr als 50 der insgesamt 218 nachgewiesenen Blütenpflanzen stehen auf der Roten Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen Bayerns (Scheuerer und Ahlmer 2003). Mit *Pulsatilla patens* (L.) Mill. ist auch eine Pflanzenart des Anhangs II der FFH-Richtlinie vertreten (Council of Europe 1979). Nach Korneck et al. (1993) stellt die Magerrasenvegetation der „Garching Heide“ eine Art Vorposten der in Osteuropa weit verbreiteten subkontinentalen Steppen des *Cirsio-Brachypodion* (Klasse *Festuco-Brometea*) mit der Assoziation *Adonido-Brachypodietum pinnati* dar.

In der „Garching Heide“ wurden aufgrund ihres Artenreichtums und des Vorkommens zahlreicher seltener Pflanzen- und Tierarten bereits ab Mitte des 19. Jahrhunderts wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt (z.B. Sendtner 1854, Vollmann 1911, Riemenschneider 1956, Hepp und Poelt 1970, Pfadenhauer und Liebermann 1986, Korneck et al. 1993, Müller und Pfadenhauer 1997, Kiehl und Jeschke 2005, Jeschke und Kiehl 2006). Im Verlauf des 20. Jahrhunderts kam es im jetzigen Naturschutzgebiet immer wieder zu Veränderungen, wie z.B. zum Abtrag des Oberbodens in einzelnen Teilbereichen, zur Erweiterung durch den Ankauf angrenzender Äcker oder zu Änderungen des Pflegeregimes. Damit ging auch ein Wandel der Vegetationszusammensetzung und -struktur sowie der Bodeneigenschaften einher.

Ziel dieser Untersuchung ist daher, verschiedene Standorte des Naturschutzgebietes mit Hilfe von Bodendaten und Vegetationsaufnahmen genauer zu charakterisieren und die Beziehung zwischen Vegetation und Standorteigenschaften zu klären. Dabei sollen nicht nur die Veränderungen in den letzten 50 Jahren diskutiert werden, sondern auch Perspektiven für die zukünftige Entwicklung des Naturschutzgebietes aufgezeigt werden.

Untersuchungsgebiet

Lage, Geologie und Klima

Das 27 ha große Naturschutzgebiet „Garching Heide“ liegt in der Münchner Schotterebene etwa 15 km nördlich von München an der Landstraße von Eching nach Dietersheim (48°18' N, 11°39' E, 469 m über NN) (Abb. 1). Die Umgebung des Naturschutzgebietes ist geprägt durch intensive Ackernutzung sowie große Siedlungs- und Verkehrsflächen. Westlich der „Garching Heide“ verläuft die stark befahrene Autobahn A9 München-Berlin. Das Naturschutzgebiet „Garching Heide“ ist Teil der naturräumlichen Einheit „Münchner Schotterebene“ (Wittmann 1983). Die Ebene ist die größte würmeiszeitliche Schotterfläche (Niederterrassenschotter) nördlich der Alpen (Pfadenhauer 2002) und dehnt sich zwischen den Endmoränen des ehemaligen Isargletschers und dem Tertiärhügelland bzw. dessen südlich vor gelagerten Grundwassermooren aus (Fetzer et al. 1986, Windolf 1989).

Das Klima im Bereich des Naturschutzgebietes ist schwach subkontinental mit einem sommerlichen Niederschlagsmaximum. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 883 mm und die Jahresmitteltemperatur bei 9 °C mit einem mittleren Minimum im Januar von -2 °C und einem mittleren Maximum im Juli von 18 °C (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Oberschleißheim, langjährige Mittel 1961-1990).

Geschichte der Landnutzung und aktuelles Management

Die Besiedlung der „Garching Heide“ kann bis in die Bronzezeit (1800 – 1000 vor Chr.) zurückverfolgt werden (Kollmansberger und Geisel 1989a). Aus dieser Zeit stammen zwei Hügelgräbergruppen im Nordwesten und Südwesten des Naturschutzgebietes. Im frühen Mittelalter legten die Bajuwaren im Gebiet Hochäcker an, um Ackerbau auf den kargen Böden zu betreiben (Kollmansberger und Geisel 1989b). Reste solcher Hochäcker können im Osten des Naturschutzgebietes gefunden werden. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war jedoch ein Großteil der Schotterebene allgemeines Weideland (Allmende) für Schafe, Rinder, Ziegen und Schweine oder einschürige Mähwiese (Sendtner 1854). Durch diese Nutzung entstand eine weite, durch niedrigwüchsige Kalkmagerrasen geprägte Landschaft, die nur vereinzelt von Gehölzinseln durchbrochen wurde (Pfadenhauer 2002). Noch 1850 erstreckten sich diese Grasheiden im Münchner Norden über eine Fläche von schätzungsweise 15.000 ha (Sendtner 1854, Pfadenhauer 2001). Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Allmende unter den Hofbesitzern der Gegend aufgeteilt. Dies schuf die rechtliche Grundlage für die folgende Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung. Um einen Teil der artenreichen Kalkmagerrasen vor der Umwandlung in Ackerland zu bewahren, kaufte die Bayerische Botanische Gesellschaft zwischen 1907 und 1914 insgesamt 23 ha Land (Geisel

1989). Im Jahr 1942 wurde diese Fläche offiziell als Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“ ausgewiesen (Kollmannsberger und Geisel 1989c). Aufgrund weiterer Flächenankäufe in den Jahren 1933 und 1959 umfasst das Gebiet heute 27,13 ha (Geisel 1989).

Als Pflegenutzung wird im Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“ eine Streifenmähd durchgeführt. Dabei wird die Zentralfläche in Streifen von ca. 40 m Breite eingeteilt, die bis 1998 jährlich alternierend im Oktober gemäht wurden, seit 1999 für die Mähgutübertragung früher (Ende Juli bis September). Für jeden einzelnen Streifen entsprach dies einer Mähd im zweijährigen Turnus. Um der Verfilzung der Vegetation und der Zunahme der Streuschicht entgegenzuwirken, wurde seit 2004 der „Bracheanteil“ reduziert, so dass nun jährlich wechselnd jeweils drei Streifen gemäht werden und nur der vierte

Streifen „brach“ liegt. Die Randbereiche und der ehemalige Acker werden jährlich Ende Juli/Anfang August gemäht. Das Mähgut wird auf ehemaligen Ackerflächen für die Wiederansiedlung von Magerrasen verwendet (Pfadenhauer und Miller 2000, Pfadenhauer und Kiehl 2003, Kiehl et al. 2006).

Das Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“ stellt ein wichtiges Naherholungsziel für die Bewohner der Umgebung dar. So ergibt sich besonders zum Blühzeitpunkt der meisten Heidearten im Frühjahr und Sommer ein starker Besucherdruck. Um diesen gezielt zu lenken, wurde ein Wegekonzept mit zwei Hauptwegen und wenigen kleinen Nebenwegen eingeführt. Trotzdem werden immer wieder seltene Pflanzenarten durch Betreten der Flächen und Sammeln beeinträchtigt.



Abb. 1 Lage des Naturschutzgebiets „Garchinger Heide“ nördlich von München (Bayern, BRD, 48°18' N, 11°39' E, 469 m NN). Die Streifen im südlichen Teil des Gebiets sind durch die kurz vorher durchgeführte Streifenmähd entstanden. Quelle: Bodeninformationssystem Bayern, www.bis.bayern.de, Befliegung 2003.

Fig. 1 Location of the nature reserve „Garchinger Heide“ north of Munich (Bavaria, Germany, 48°18' N, 11°39' E, 469 m NN). The stripes in the south of the reserve result from the mowing shortly before. Source: Bodeninformationssystem Bayern, www.bis.bayern.de, flight 2003.

Methoden

Untersuchungsstandorte

Ziel der bodenkundlichen und vegetationskundlichen Untersuchungen war, die drei wichtigsten Standorttypen des Naturschutzgebiets „Garchinger Heide“ zu charakterisieren. Der größte Teil des Gebiets wird von der *Altheide* eingenommen, d.h. von ursprünglichen, nie umgebrochenen Grasheiden (Abb. 2). Die Mächtigkeit des humusreichen feinkörnigen Oberbodens erreicht hier im Durchschnitt nur 10-20 cm (Pfadenhauer und Liebermann 1986). Im südlichen Teil der Altheide liegt das 1,6 ha große *Rollfeld* (Abb. 2). In den letzten Kriegsmonaten sollte hier im Jahr 1945 durch Häftlinge aus dem Konzentrationslager Dachau auf einer Breite von durchschnittlich 40 m und einer Länge von etwa 300 bis 400 m durch Abtragen des Oberbodens per Hand eine Landebahn für den Militärflughafen Schleißheim geschaffen werden (Kollmannsberger und Geisel 1989d). Wegen des Kriegsendes wurde das Rollfeld jedoch nie fertig gestellt und benutzt. Bis heute konnte sich hier nur ein 1 - 2 cm mächtiger Ah-Horizont über dem anstehenden Kies bilden. Somit stellt das Rollfeld einen Standort für anspruchslose, konkurrenzschwache Gefäßpflanzen sowie zahlreiche Moos- und Flechtenarten dar (Jeschke und Kiehl 2006).

Im Jahr 1959 wurde ein ca. 1,6 ha großer Acker im Osten des Naturschutzgebiets hinzugekauft (Abb. 2). Bei dem Boden dieses *ehemaligen Ackers* handelt es sich um eine Ackerpararendzina. Im Laufe der Jahre konnten sich hier auch ohne künstliche Ansiedlungsversuche zahlreiche Kalkmagerrasenarten etablieren; außerdem kommen aber auch einige anspruchsvolle Arten des Wirtschaftsgrünlandes (Klasse *Molinio-Arrhenatheretea*) vor, die ansonsten im Naturschutzgebiet fehlen (Pfadenhauer und Miller 2000, Kiehl und Jeschke 2005).

Bodenkundliche Untersuchungen

Zur Beschreibung der Böden des Naturschutzgebiets stellte das Bayerische Geologische Landesamt bisher unveröffentlichte Bodenprofile und dazu gehörige Analysedaten aus dem Jahr 1985 zur Verfügung (Lage s. Abb. 2). Die Bezeichnung der Horizonte richtet sich nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005). Die Anlage von aktuellen Bodenprofilen war aufgrund der mit dem Eingriff verbundenen großen Störung des Naturschutzgebietes nicht möglich. Im September 2004 wurden im Bereich der Altheide sowie auf dem Rollfeld jeweils 15 Bodenproben und auf dem ehemaligen Acker fünf Proben des Oberbodens (0-10 cm) entnommen. Aufgrund des sehr hohen Skelettgehalts des Bodens konnte keine volumengerechte Beprobung mittels Stechzylinder durchgeführt werden.

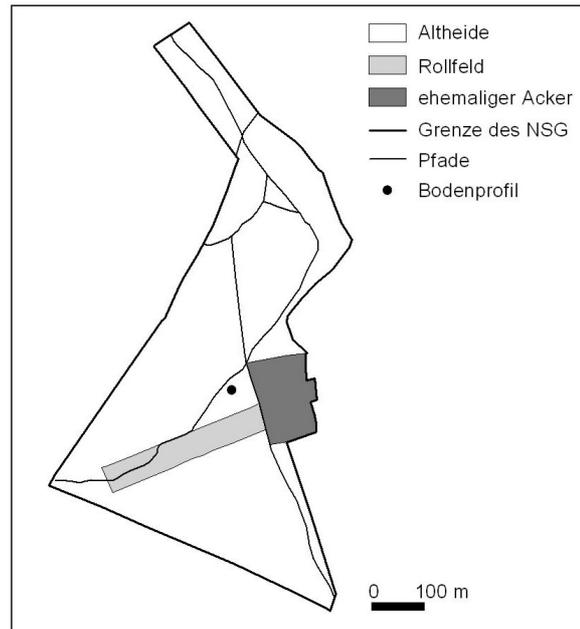


Abb. 2 Standorttypen im Naturschutzgebiet „Garchinger Heide“. Altheide: ursprüngliche Magerrasen; Rollfeld: Bodenabtrag 1945; ehemaliger Acker: bis 1959 bewirtschaftet.

Fig. 2 Habitat types of the nature reserve “Garchinger Heide“. Ancient grassland, “Rollfeld” (topsoil removal 1945) and ex-arable field (last ploughed in 1959).

Die Bodenproben wurden bei 60°C getrocknet, gewogen und gesiebt (2 mm Maschenweite). Der Feinboden (< 2 mm) wurde gewogen und hinsichtlich des pH-Werts und der Nährstoffgehalte analysiert. Jeweils die Hälfte einer Bodenprobe wurde gemahlen, um mit Hilfe eines Elementaranalysators (VarioEL) im CN-Modus den Gehalt an Gesamtstickstoff und Gesamtkohlenstoff zu bestimmen. In kalkhaltigen Böden tritt Kohlenstoff nicht nur in organischer (C_{org}) sondern auch in anorganischer Form (C_{anorg}) als Bestandteil des Kalziumcarbonats ($CaCO_3$) auf. Deshalb wurde der Kalziumcarbonatanteil der Bodenproben nach der Scheibler-Methode (Schlichting et al. 1995) ermittelt und daraus der Anteil des anorganischen Kohlenstoffes berechnet. Die Differenz des Gesamtkohlenstoffes und des anorganischen Kohlenstoffes ergab dann den Gehalt an organischem Kohlenstoff, der für die Berechnung des C/N-Verhältnisses verwendet wurde. Um das Angebot an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium in den Bodenproben abzuschätzen, wurde der Gehalt an Kalziumlactat-(CAL-)austauschbarem P_2O_5 und K_2O bestimmt (Schlichting et al. 1995, VDLUFA 2002). Der pH-Wert wurde in $CaCl_2$ -Lösung gemessen (VDLUFA 1991).

Vegetationskundliche Untersuchungen

Um die Vegetation der „Garchinger Heide“ zu beschreiben, wurden in den Jahren 2003 und 2004 insgesamt 104 Vegetationsaufnahmen auf 4 m² großen Flächen durchge-

führt. Diese Flächengröße wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit mit Angaben anderer Untersuchungen in Kalkmagerrasen der Münchner Schotterebene (z.B. Kiehl und Wagner 2006, Will et al. 2005) sowie weiteren europäischen Kalkmagerrasen (z.B. Dengler 2005) zu gewährleisten. Es wurden 62 Flächen im Bereich der Altheide aufgenommen, 26 Flächen auf dem Rollfeld und 16 Flächen auf dem ehemaligen Acker. Die Deckung aller auf den Aufnahmeflächen vorkommenden Gefäßpflanzenarten wurde in Prozent geschätzt. Außerdem wurden die Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen, Moose und Strauchflechten, der Streu sowie die Deckung des unbedeckten Bodens (inklusive Steine) ermittelt. Die auf dem Rollfeld vorkommenden Krustenflechten (vgl. Schauer 1969) wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht. Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach Oberdorfer (2001, 8. Auflage).

Datenauswertung

Für die Gefäßpflanzen wurde die Artenzahl pro 4 m²-Fläche ermittelt sowie der Anteil magerrasentypischer Arten und Grünlandarten an der Artenzahl pro 4 m² bestimmt. Die magerrasentypischen Arten umfassten die beiden folgenden Gruppen: Arten der Halbtrockenrasen und Arten der Trockenrasen. Zu den Arten der Halbtrockenrasen gehören vor allem Arten der Verbände *Mesobromion erecti* Br.-Bl. et Moor 1938 und *Cirsio-Brachypodium* Had. et Klika 1944 (nach Oberdorfer 2001). Auch einzelne Arten der Klassen *Erico-Pinetea* Horvat 1959 und *Trifolio-Geranietea sanguinei* Th. Müll. 1961, die typisch für genutzte Kalkmagerrasen im Münchner Norden sind, wurden dieser Gruppe zugeordnet. Arten des Verbands *Xerobromion* Br.-Bl. et Moor 1938 sowie der Klassen *Sedo-Scleranthetea* Br.-Bl. 1955 em. Th. Müll. 1961 und *Seslerietalia albicantis* Br.-Bl. 1948 wurden der Gruppe „Arten der Trockenrasen“ zugeordnet. Gefäßpflanzenarten des Wirtschaftsgrünlands (Klasse *Molinio-Arrhenatheretea* Tx 1937) bilden die dritte Gruppe „Grünlandarten“. Für alle Vegetationsaufnahmen wurden für die Seggen als Matrixbildner, die als konkurrenzstark geltenden Süßgräser, die stickstofffixierenden Leguminosen, die Chamaephyten, welche besonders typisch für nie umgebrochenen Trocken- und Halbtrockenrasen sind und für sonstige Krautarten, die prozentualen Anteile an der Artenzahl sowie an der Deckungssumme (Summe aller prozentual geschätzten Deckungswerte) bestimmt. Dabei wurden die nur in wenigen Aufnahmen vorkommenden Gehölze (*Salix eleagnos* Scop., *Rhamnus saxatilis* Jacq.) mit zu den sonstigen Krautigen gezählt, da eine gesonderte Darstellung dieser im Gebiet niedrigwüchsigen Gehölze aufgrund der geringen Anzahl nicht sinnvoll war. Um eine doppelte Zuordnung von Arten zu vermeiden wurden der Gruppe Chamaephyten nur diejenigen Arten zugeordnet, die nicht zur Familie der *Fabaceae* gehören. Auf die Ergebnisse hat dies keinen Einfluss, da die chamaephytischen Leguminosen auf allen Standorten mit ähnlichen Artenzahlen und Deckungen vertreten waren. Weiterhin wurden für alle Standorte die Matrixarten, d.h. die Arten, die in mindestens 90% der Aufnahmeflächen eines

Standorts mit einer durchschnittlichen Deckung von mehr als 5% vorkommen, ermittelt.

Um Vegetationsgradienten zu beschreiben, wurde mit den wurzeltransformierten Deckungswerten der Gefäßpflanzen eine DCA (Detrended Correspondence Analysis) berechnet. Arten, die in weniger als fünf Aufnahmen vorkamen (5%), wurden dabei ausgeschlossen. Der Anteil der durch die DCA erklärten Varianz wurde mit Hilfe einer "after-the-fact evaluation" unter Verwendung des Distanzmaßes der relativen Euklidischen Distanz bestimmt (McCune und Mefford 1999). Für die Interpretation der DCA wurden Korrelationen zwischen den „site scores“ der DCA und den Anteilen der Arten der Halbtrockenrasen, Trockenrasen und des Grünlands an der Artenzahl berechnet und auf Signifikanz geprüft. Dazu wurde der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient r_s verwendet. Für die Berechnung der Korrelation zwischen der Deckung von *Brachypodium rupestre* und der Anzahl der Magerrasen- bzw. Trockenrasenarten wurde ebenfalls der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient verwendet.

Unterschiede zwischen den Standorten hinsichtlich der Artenzahl, des prozentualen Anteils der oben genannten Artengruppen an der Artenzahl und der Deckung der Gefäßpflanzen, Moose, Strauchflechten, Streu, des offenen Bodens sowie der Chamaephyten, Leguminosen, Süßgräser, Seggen und sonstigen Krautigen wurden mit Hilfe des nichtparametrischen Mann-Whitney U-Tests paarweise analysiert. Auf die gleiche Weise wurden Unterschiede hinsichtlich des Feinbodenanteils, pH-Werts, der Gehalte an CAL-austauschbarem P₂O₅ und K₂O sowie des C_{org}, des N_{ges} und C/N-Verhältnisses getestet. Anschließend wurde eine Benjamini-Hochberg Korrektur für multiple Vergleiche durchgeführt (Benjamini und Hochberg 1995, Verhoeven et al. 2005).

Ergebnisse

Bodenkundliche Untersuchungen

Bei den Böden der „Garching Heide“ handelt es sich um Pararendzinen über Niederterrassenschotter (Abb. 3). Der Ah-Horizont des in der Altheide aufgenommenen Profils besteht aus lehmigem Sand mit einem Kiesanteil von 10 bis 30 %. Der Lehmanteil des Feinbodens nimmt nach unten immer mehr ab bis im C-Horizont nur noch reiner Sand und Kies auftreten, wobei der kiesige Grobboden überwiegt. Der Humusgehalt nimmt im Bodenprofil vom Ah-Horizont zum C-Horizont ab, während der Carbonatgehalt ansteigt.

Alle drei Standorte des Naturschutzgebiets unterscheiden sich hinsichtlich des Anteils an Feinboden, des Gehalts an CAL-austauschbarem K₂O und des Gehalts an Gesamtstickstoff im Oberboden voneinander (Tab. 1, Abb. 4). Der Gehalt an CAL-austauschbarem P₂O₅ ist an allen drei Standorten ähnlich. Der pH-Wert ist auf dem Rollfeld am niedrigsten und das C/N-Verhältnis auf dem ehemaligen Acker.

| Tiefe [cm] | Horizonte | Bodenart fein / grob | Skelettanteil [%] min / max | Gefüge | Humus- klasse | Carbonat- klasse |
|------------|-----------|-------------------------|--------------------------------|---------|------------------|---------------------|
| 0 | eAh | Sl3 / g6 | 10 / 30 | kru | 3 | c1 |
| 12 | Ah-eCv | Sl2 / g6 | 50 / 75 | ein-kru | 1 | c4 |
| 32 | eICv | Ss / g6 | 75 / 90 | ein | 0 | c5 |
| 52 | | | | | | |

Abb. 3 Bodenprofil im Bereich der Altheide des Naturschutzgebiets „Garchinger Heide“ (Lage s. Abb. 2). Mit freundlicher Genehmigung des Bayerischen Geologischen Landesamtes (www.geologie.bayern.de). Zusätze zu Horizontbezeichnungen: e=mergelig, l=Lockersubstrat, v=verwittert (nach Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005).

Fig. 3 Soil profile from the “Garchinger Heide“ (for location see Fig. 2) ancient grassland in 1985 courtesy of Bayerisches Geologisches Landesamt (www.geologie.bayern.de). Soil depth, soil type (fine/coarse), % gravel, texture, organic content class, carbonate class (headings left to right). Additions within the description of the soil horizons: e=marly, l=unconsolidated, v=weathered (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005).

| | pH-Wert | P ₂ O ₅ [mg/100g] | K ₂ O [mg/100g] | N _{ges} [%] | C/N-Verhältnis |
|------------------|-------------|---|----------------------------|----------------------|----------------|
| Rollfeld | 7,4 ± 0,1 a | 1,3 ± 0,8 a | 7,8 ± 1,4 a | 0,52 ± 0,09 a | 12,4 ± 0,5 a |
| Altheide | 6,4 ± 0,3 b | 1,6 ± 1 a | 5,1 ± 1,3 b | 0,60 ± 0,09 b | 12,1 ± 0,3 a |
| ehemaliger Acker | 7,4 ± 0,1 a | 1,6 ± 0,9 a | 11,2 ± 1,8 c | 0,68 ± 0,04 c | 11,5 ± 0,3 b |

Tab. 1 Ergebnisse der Analyse der bodenchemischen Analysen (pH-Wert, CAL-austauschbares P₂O₅ und K₂O sowie C/N-Verhältnis). Angegeben sind die Mittelwerte ± Standardabweichung (Altheide n=15, Rollfeld n=15, ehemaliger Acker n=5). Der Feinbodenanteil bezieht sich auf den trockenen Boden. Alle übrigen Angaben beziehen sich auf den trockenen Feinboden (< 2 mm). Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede p < 0,05 (für jeden Parameter getrennt zu lesen).

Tab. 1 Results of the soil analyses: pH-value, CAL-exchangeable P₂O₅ and K₂O and C/N-ratio. Values represent means ± standard deviation (ancient grassland n=15, “Rollfeld” n=15, ex-arable field n=5). The proportion of fine soil refers to soil dry weight. The other results apply to dry fine soil < 2 mm. Different letters show significant differences, p < 0.05 (to be read separately for each parameter).

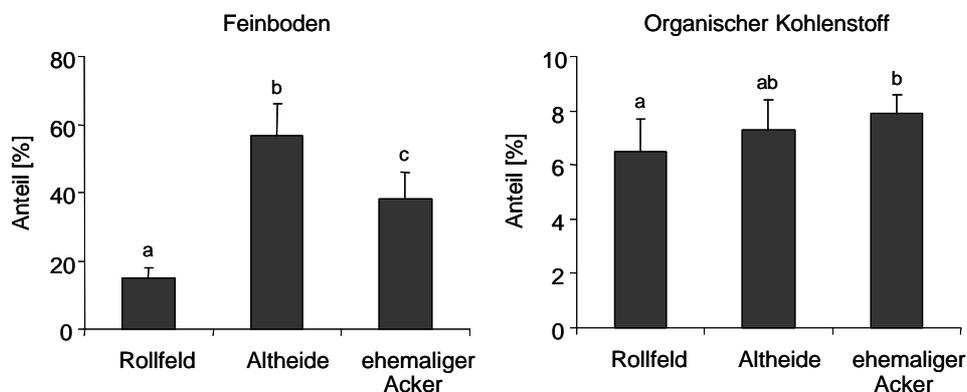


Abb. 4 Mittlerer Anteil des Feinbodens und des organischen Kohlenstoffs im Boden. Dargestellt sind jeweils Mittelwert + 1 Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, p < 0,05. Die unterschiedlichen Skalierungen sind zu beachten.

Fig. 4 Mean proportion of fine soil and percent of organic carbon (from left to right). Data represent mean values and + 1 standard deviation. Different letters show significant differences, p < 0.05. Note the different scales.

Vegetationskundliche Untersuchungen

Die Ergebnisse der einzelnen Vegetationsaufnahmen sind in der Vegetationstabelle, Anhang 1, zu finden.

Deckung und Anteile verschiedener Artengruppen

Die Altheide und der ehemalige Acker sind sich in Bezug auf die Deckung der Gefäßpflanzen, Moose und Strauchflechten sowie der offenen Bodenstellen sehr ähnlich. Nur die Deckung der Streuschicht ist in der Altheide höher (Abb. 5). Auf dem Rollfeld ist die Deckung der Gefäßpflanzen und Moose deutlich geringer als an den anderen beiden Standorten. Die Deckung der Strauchflechten und der offenen Bodenstellen ist dagegen deutlich höher.

Die mittlere Artenzahl der Gefäßpflanzen pro 4 m²-Fläche unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den drei Standorten. Auf dem Rollfeld treten im Durchschnitt

26 Gefäßpflanzenarten auf und in der Altheide sowie auf dem ehemaligen Acker 28. Den größten Anteil an der Artenzahl nehmen auf allen Standorten die Arten der Halbtrockenrasen ein (Abb. 6). Auf dem Rollfeld wurde der höchste Anteil der Arten der Trockenrasen gefunden und der niedrigste Anteil an Grünlandarten. Auf dem ehemaligen Acker verhielt es sich genau umgekehrt (Abb. 6). Die Anzahl der Magerrasen- und Trockenrasenarten korreliert negativ mit der Deckung von *Brachypodium rupestre* (Host) Roem. und Schult. ($r_s = -0,44$, $P < 0,05$) (Abb. 7).

Auf dem Rollfeld waren der Anteil der Chamaephyten an der Artenzahl und Deckung sowie der Deckungsanteil der Seggen deutlich höher als an den anderen beiden Standorten (Abb. 8). Der Anteil der Seggen an der Artenzahl war dagegen an allen drei Standorten ähnlich. Auf dem ehemaligen Acker war der Anteil der Süßgräser an der Artenzahl und Deckung signifikant am höchsten, während in der Altheide der Anteil der sonstigen krautigen Arten höher als an den anderen Standorten war.

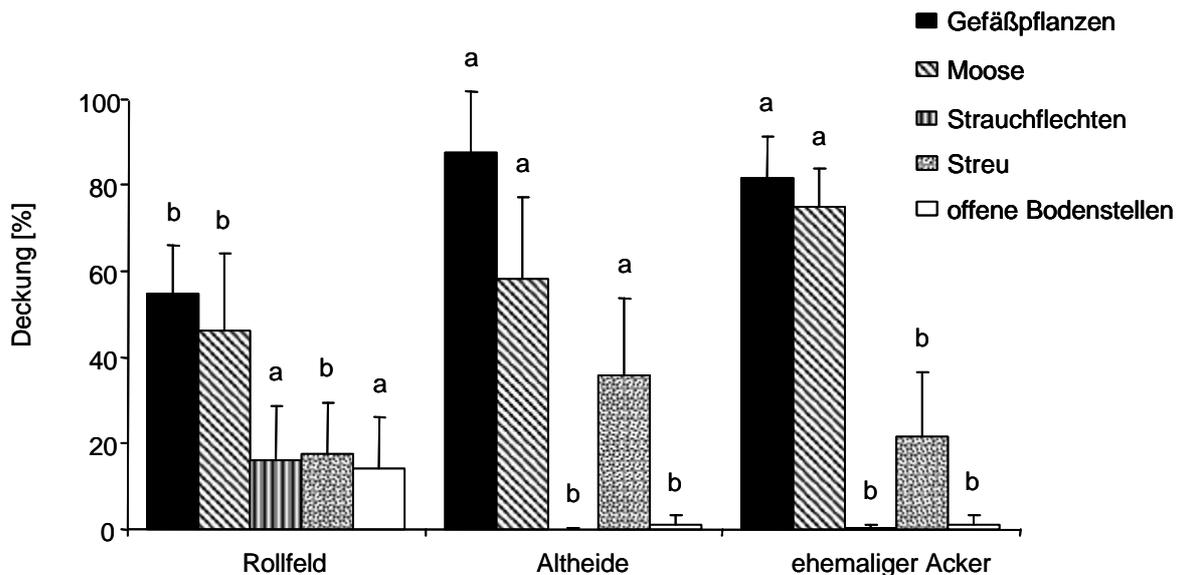


Abb. 5 Mittlere prozentuale Deckung der Gefäßpflanzen, Moose, Strauchflechten, Streu und der offenen Bodenstellen pro 4 m². Dargestellt sind jeweils Mittelwert + 1 Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, $p < 0,05$ (für jeden Parameter getrennt zu lesen).

Fig. 5 Mean percentage cover of vascular plants, mosses, lichens, litter and open soil per 4 m² (from left to right). Data represent mean values + 1 standard deviation. Different letters show significant differences, $p < 0.05$ (to be read separately for each parameter).

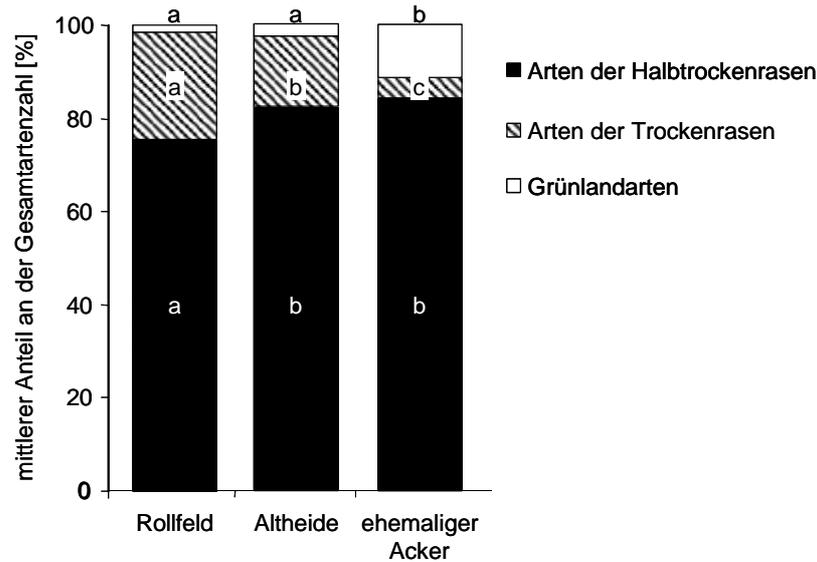


Abb. 6 Mittlerer Anteil der Arten der Halbtrockenrasen (*Mesobromion*), Trockenrasen (*Xerobromion*) und des Wirtschaftsgrünlands (*Molinio-Arrhenatheretea*) an der Artenzahl auf 4 m². Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, $p < 0,05$ (für jeden Parameter getrennt zu lesen).

Fig. 6 Mean proportion of species of the *Mesobromion erecti* and *Cirsio-Brachypodium* (black), species of the *Xerobromion*, *Sedo-Scleranthetea* and *Seslerietalia albicantis* (hatched) and *Molinio-Arrhenatheretea* species (white) in relation to species richness per 4 m². Different letters show significant differences, $p < 0.05$ (to be read separately for each parameter).

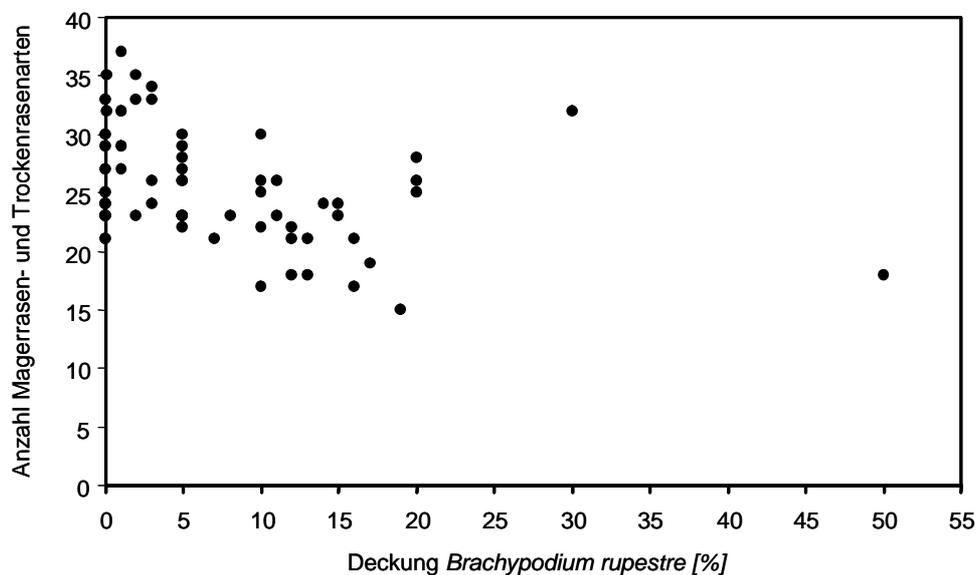


Abb. 7 Zusammenhang zwischen der Deckung von *Brachypodium rupestre* und der Anzahl der Magerrasen- und Trockenrasenarten in der Altheide $n=62$, Spearman-Rangkorrelationskoeffizient $r_s = -0,44$, $p < 0,05$.

Fig. 7 Correlation between the cover of *Brachypodium rupestre* and the number of dry grassland species (*Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthetea* and *Seslerietalia albicantis*) in the ancient grassland $n=62$, $r_s = -0.44$, $p < 0.05$.

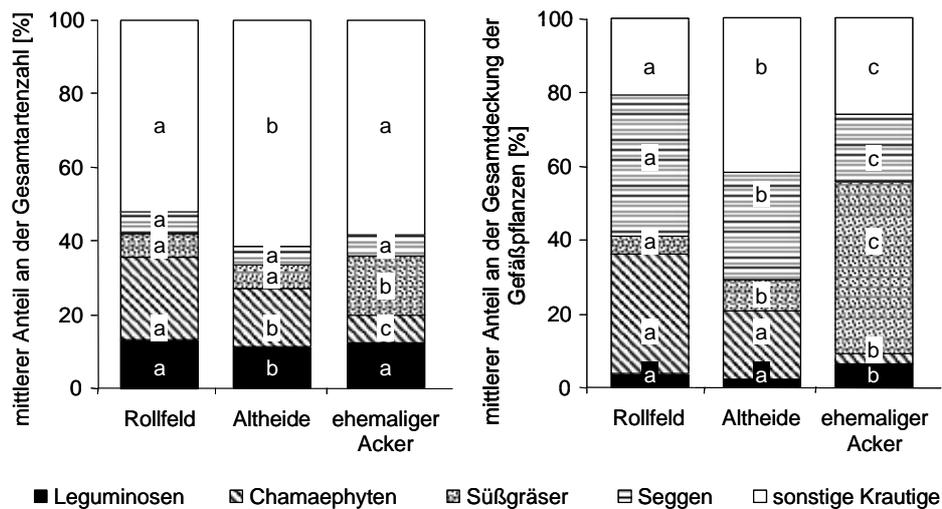


Abb. 8 Mittlerer Anteil an der Artenzahl und Deckungsanteil der Leguminosen, Chamaephyten, Süßgräser, Seggen und sonstigen Krautigen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, $p < 0,05$ (für jeden Parameter getrennt zu lesen).

Fig. 8 Mean proportion of legumes, chamaephytes, grasses, sedges and others herbaceous species in relation to species richness (left) and total cover (right). Different letters show significant differences, $p < 0.05$ (to be read separately for each parameter).

Analyse der Artenzusammensetzung

Die Ergebnisse der DCA (Detrended Correspondence Analysis) zeigen, dass sich die drei Standorte des Naturschutzgebietes (Rollfeld, Altheide, ehemaliger Acker) floristisch deutlich voneinander unterscheiden (Abb. 9). Entlang der ersten Achse, die 20,6% der Gesamtvarianz im Datensatz erklärt, wird der ehemalige Acker von der Altheide und dem Rollfeld getrennt. Auf der zweiten Achse, die weitere 14,2% der Varianz erklärt, werden das Rollfeld und die Altheide voneinander abgegrenzt. Der Anteil der Arten der Halbtrockenrasen korreliert negativ mit Achse 2 der DCA ($r_s = -0,59$, $P < 0,001$), während der Anteil der Trockenrasenarten negativ mit Achse 1 ($r_s = -0,46$, $P < 0,001$) und positiv mit Achse 2 ($r_s = 0,48$, $P < 0,001$) korreliert. Der Anteil der Grünlandarten korreliert schwach positiv mit Achse 1 der DCA ($r_s = 0,23$, $P = 0,02$).

Als Matrixarten, die in mindestens 90% der Aufnahme-flächen mit einer durchschnittlichen Deckung $> 5\%$ vorkommen, wurden für die Altheide (Abb. 10) *Carex humilis* Leyss. und *Anthericum ramosum* L. ermittelt (Tab. 2). Auf dem Rollfeld (Abb. 11) tritt lediglich *Carex*

humilis als Matrixart auf. Außerdem kommen dort in fast allen Aufnahme-flächen *Teucrium montanum* L., *Dorycnium germanicum* (Greml) Rikli und *Thymus praecox subsp. praecox* vor. Die dealpine Art *Gentiana clusii* Perr. und Song. ist ausschließlich auf das Rollfeld beschränkt. Der ehemalige Acker (Abb. 12) ist geprägt durch die Matrixarten *Bromus erectus* Huds. und *Carex humilis*. Dort kommt außerdem in allen Aufnahme-flächen *Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench vor.

Folgende typische Magerrasenarten der Altheide fehlen in den untersuchten Flächen des ehemaligen Ackers: *Adonis vernalis* L., *Carduus defloratus* L. subsp. *defloratus*, *Dorycnium germanicum* (Greml) Rikli, *Erica herbacea* L., *Euphorbia verrucosa* L., *Euphrasia rostkoviana* Hayne, *Galium boreale* L., *Globularia cordifolia* L., *Inula hirta* L., *Polygala chamaebuxus* L., *Polygala amarella* Crantz, *Polygala vulgaris* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Potentilla alba* L., *Teucrium montanum* L. Dagegen kommen einige andere Arten ausschließlich auf dem ehemaligen Acker vor: *Achillea millefolium* L. subsp. *millefolium*, *Plantago lanceolata* L., *Ranunculus bulbosus* L., *Silene vulgaris* (Moench) Garcke subsp. *vulgaris*, *Taraxacum officinale* agg.

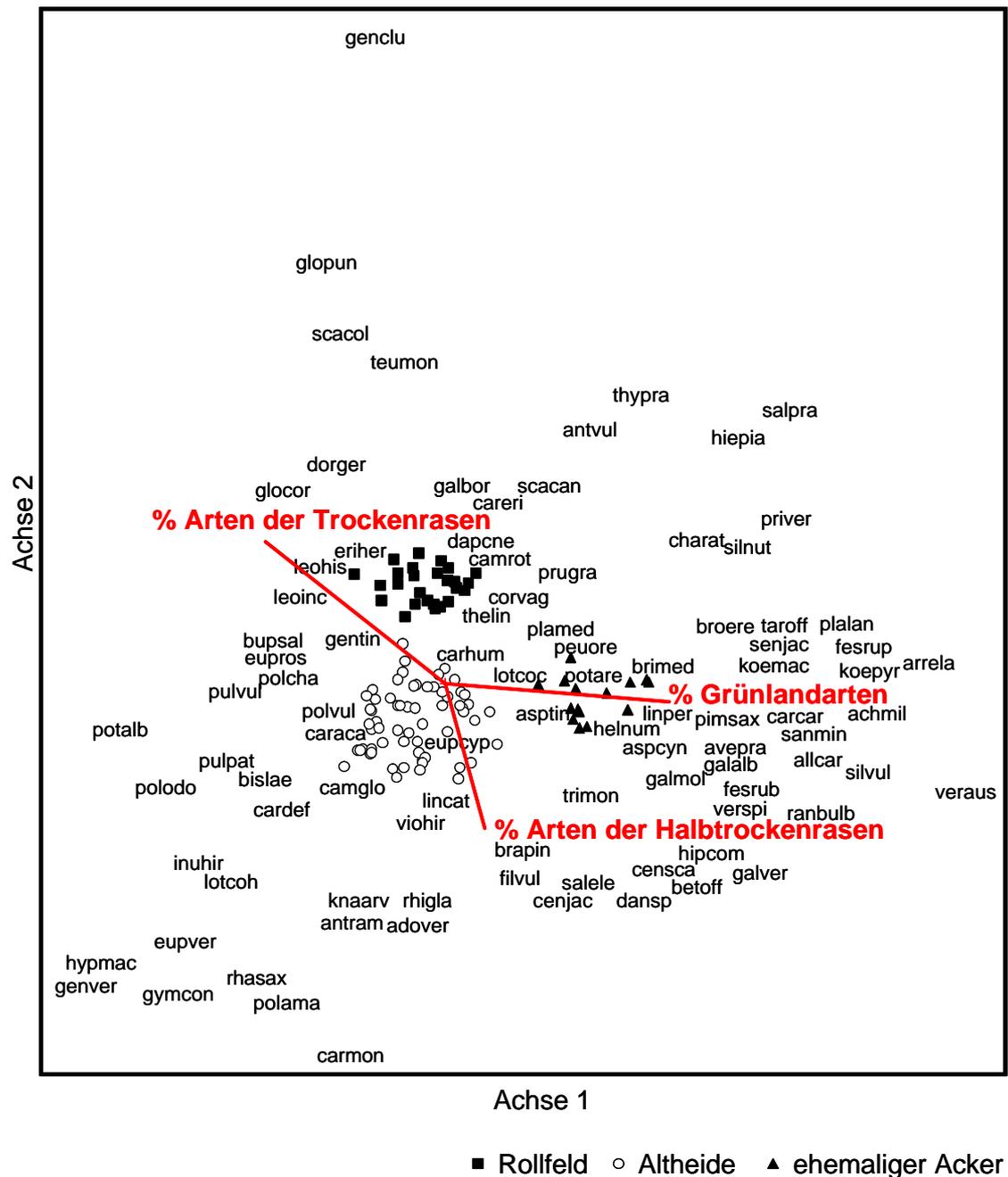


Abb. 9 Ergebnis der DCA (Detrended Correspondence Analysis) mit den wurzeltransformierten Artmchtigkeiten. Die roten Vektoren stellen die Korrelationen des Anteils der Arten der Halbtrockenrasen, Trockenrasen und des Grünlands an der Artenzahl mit Achse 1 und 2 der Ordination dar. Die vollständigen Artnamen finden sich im Anhang 2.

Fig. 9 DCA (Detrended Correspondence Analysis) ordination of the square-root transformed species cover data. The red vectors indicate correlations of the proportion of species of the *Mesobromion erecti* and *Cirsio-Brachypodium*; species of the *Xerobromion*, *Sedo-Scleranthetea* and *Sesleritalia albicantis*; and *Molinio-Arrhenatheretea* species with axis 1 and axis 2 of the DCA. For full names of plant species see appendix 2.



Abb. 10 Altheide (Juli 2004); Foto: Daniela Röder

Fig. 10 Ancient grassland (July 2004); Photo: Daniela Röder



Abb. 11 Rollfeld (Mai 2001); Foto: Annuschka Thormann

Fig. 11 „Rollfeld“ (May 2001); Photo: Annuschka Thormann



Abb. 12 Ehemaliger Acker (Juli 2004); Foto: Daniela Röder
Fig. 12 Ex-arable field (July 2004); Photo: Daniela Röder

Diskussion

Vergleich der Bodeneigenschaften an den untersuchten Standorten

Wasserverfügbarkeit und pH-Wert

Pararendzinen aus Schotter haben aufgrund ihres hohen Steingehalts eine geringe Wasserspeicherkapazität (Scheffer/Schachtschabel 2002). Tendenziell kann dabei davon ausgegangen werden, dass mit dem Feinbodenanteil des Bodens auch die Wasserverfügbarkeit steigt. Eine Studie von Leuschner (1989) zeigte unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Skelettgehalts der Böden, dass die Wasserspeicherkapazität mit dem „physiognomischen Charakter“ der ihnen zugehörigen Rasengesellschaften korrespondiert und von *Xerobromion* über *Mesobromion* hin zu *Arrhenatherion* zunimmt. Demnach kann das Rollfeld auf Grund seines geringen Feinbodenanteils und des durch den Oberbodenabschub stark reduzierten Anteils organischen Kohlenstoffs als der Standort mit der geringsten Wasserverfügbarkeit im Naturschutz

gebiet „Garching Heide“ bezeichnet werden. Der in der Altheide wesentlich höhere Anteil des Feinbodens und auch des organischen Kohlenstoffs im Oberboden lässt auf eine deutlich bessere Wasserverfügbarkeit schließen. Aufgrund des im C-Horizont anstehenden Schotters kommt es jedoch auch hier in niederschlagsarmen Perioden häufig zu Wasserknappheit. Der im Gegensatz zur Altheide geringere Feinbodenanteil des ehemaligen Ackers ist auf das frühere Pflügen der Fläche zurückzuführen, wodurch immer wieder größere Steine in den Oberboden gelangten und somit der Feinbodenanteil gesenkt wurde. Die Wasserverfügbarkeit ist deshalb auf dem ehemaligen Acker vermutlich etwas schlechter als in der Altheide.

Mit dem Anteil des Feinbodens und dem Verwitterungsgrad der Böden hängt auch der pH-Wert der Standorte eng zusammen. So war der pH-Wert auf dem Rollfeld und auf dem ehemaligen Acker auf Grund des niedrigeren Feinbodenanteils und damit höheren Skelettanteils kalkhaltigen Gesteins höher als in der Altheide. Zudem bewirkt in der Altheide auch der höhere Humusgehalt eine Absenkung des pH-Werts. Ein Vergleich der pH-Werte des Ah-Horizonts der Altheide zeigt in den letzten 35 Jahren nur leicht schwankende Werte um den pH-Wert 6 (Daten des Bayerisches Geologisches Landesamts von 1970 und 1987, Kiehl et al. 2003).

| | Rollfeld (n=26) | | Altheide (n=62) | | ehemalige Acker (n=16) | |
|------------------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| | Häufigkeit [%] | Deckung [%] | Häufigkeit [%] | Deckung [%] | Häufigkeit [%] | Deckung [%] |
| <i>Anthericum ramosum</i> | 38 | 0,8 | 100 | 27,0 | 81 | 2,0 |
| <i>Brachypodium rupestre</i> | 65 | 1,0 | 82 | 9,3 | 69 | 6,6 |
| <i>Bromus erectus</i> | 69 | 3,4 | 56 | 2,8 | 100 | 16,0 |
| <i>Carex humilis</i> | 96 | 25,0 | 98 | 32,0 | 100 | 13,0 |

Tab. 2 Häufigkeit und mittlere Deckung von *Anthericum ramosum*, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus* und *Carex humilis* auf dem Rollfeld, in der Altheide und auf dem ehemaligen Acker. Die Matrixarten, die in mind. 90% der Aufnahme­flächen mit einer durchschnittlichen Deckung > 5% vorkommen sind jeweils fett markiert.

Tab. 2 Frequency and mean cover of *Anthericum ramosum*, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus* and *Carex humilis* at the "Rollfeld", in the ancient grassland and on the ex-arable field. Matrix-species, which occur in at least 90% of the plots with an average cover of > 5%, are marked in bold.

Nährstoffdynamik

Untersuchungen zu Aushagerung durch Mahd auf sandigen Böden in den Niederlanden zeigten, dass die Gehalte an austauschbarem Kalium schneller zurückgingen als die Phosphat-Gehalte des Bodens (Pegtel et al. 1996). Nach der Einstellung der Düngung und einer anhaltenden regelmäßigen Mahd kam es dort aber ebenso wie in einer Langzeitstudie in England und Wales (Skinner und Todd 1998) im Verlauf von 25 Jahren zu einem deutlichen Rückgang der Phosphat- und Kalium-Gehalte. Auch in der „Garching Heide“ lässt sich eine zunehmende Aushagerung durch Mahd feststellen. Vergleicht man die 2004 ermittelten Werte an CAL-austauschbarem P₂O₅ auf dem ehemaligen Acker mit Werten von Miller und Pfadenhauer (1997) aus dem Jahr 1993, so zeigt sich ein deutlicher Rückgang von Werten um 4,6 mg/100 g (1993) auf 1,6 mg/100 g (2004), was dem Niveau der Altheide im selben Jahr entspricht. Auch der Gehalt an Cal-austauschbarem K₂O sank, jedoch nicht so schnell, von 20 mg/100 g im Jahr 1993 (Miller und Pfadenhauer 1997) auf 11,2 mg/100 g im Jahr 2004. Seit dem Ankauf des ehemaligen Ackers im Jahr 1959 konnten sich somit die Phosphat-Gehalte dem Niveau der Altheide angleichen und die Kalium-Gehalte annähern. Der Rückgang der P- und K-Gehalte in den Böden des ehemaligen Ackers der „Garching Heide“ deutet darauf hin, dass es inzwischen durch die jährliche Mahd ohne Düngung zu einer deutlichen Aushagerung des Bodens gekommen ist. Die Gesamtstickstoffgehalte auf dem ehemaligen Acker waren jedoch höher als im übrigen Untersuchungsgebiet, was vermutlich auf die höhere Deckung der Leguminosen, welche Stickstoff im Boden anreichern, zurückzuführen ist.

Untersuchungen auf Renaturierungsflächen mit Bodenabtrag im Umfeld der Garching Heide zeigten, dass bei einer durch Mähgutauftrag erhöhten Gesamtdeckung der Vegetation mehr Kalium im Oberboden angereichert wurde als auf Flächen mit geringer Vegetationsdeckung (Kiehl et al. 2003). So kann eventuell die Zunahme des

Gehalts an CAL-austauschbarem K₂O auf dem Rollfeld um 2,3 mg/100 g im Vergleich zum Jahr 2000 (Kiehl et al. 2003) mit der zunehmenden Gesamtdeckung der Vegetation durch die voranschreitende Sukzession erklärt werden. Möglicherweise spiegeln diese Werte jedoch auch nur kleinräumige oder zeitliche Schwankungen der Kalium-Verfügbarkeit wieder (vgl. Scheffer/Schachtschabel 2002). Die geringe Phytomasseproduktion auf dem Rollfeld (s. Kiehl et al. 2003) ist neben der Trockenheit vermutlich vor allem auf die geringe Stickstoffverfügbarkeit zurückzuführen, welche aus der geringen Wasserverfügbarkeit und dem geringen Gesamtstickstoffgehalt resultiert (Leuschner 1989, Neitzke 1998, Unkovich et al. 1998)

Zusammenfassend zeigen diese Ergebnisse, dass die Bedingungen für das Pflanzenwachstum vom Rollfeld über die Altheide hin zum ehemaligen Acker zunehmend günstiger werden.

Vegetationsentwicklung

Die drei Standorte des Naturschutzgebiets „Garching Heide“ konnten auch nach einer Sukzession von 60 Jahren (Rollfeld) bzw. 45 Jahren (ehemaliger Acker) noch klar floristisch voneinander unterschieden werden. Die Einzigartigkeit der Altheide macht auch heute noch, wie bereits von Vollmann (1911) geschildert, das gleichzeitige Vorkommen submediterraner (z.B. *Asperula cynanchica* L., *Hippocrepis comosa* L.), dealpiner (z.B. *Gentiana clusii*, *Globularia cordifolia*) und pontischer (z.B. *Adonis vernalis*, *Pulsatilla patens*) Florenelemente aus. Die von Riemenschneider (1956) beschriebene Artenzusammensetzung scheint sich aber verändert zu haben. So dominieren heute *Carex humilis* und *Anthericum ramosum* sowie *Brachypodium rupestre* und *Bromus erectus*. *Koeleria pyramidata* (Lam.) P. Beauv. und *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult. wurde im Gegensatz zu 1956 im Jahr 2004 in den Vegetationsaufnahmen der Altheide nicht gefunden. *Carex montana* L. und

Avenula pratensis (L.) Dumort. traten nur in einzelnen Aufnahme­flächen mit geringen Deckungen auf. Besonders *Brachypodium rupestre* hat jedoch, wie auch die nah verwandte Art *Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv., (Düring und Willems 1984, Bobbink und Willems 1987, Hurst und John 1999) einen negativen Einfluss auf die Artenzahl und in unserer Untersuchung besonders auf die Anzahl der Magerrasen- und Trockenrasenarten. In der Altheide wurde *Brachypodium rupestre* vermutlich einerseits durch die zu extensive Mahd­nutzung im zwei­jährigen Turnus gefördert und zusätzlich durch den Eintrag von Stickstoff aus der Luft durch Verkehr- und Industrie-Emissionen (vgl. Bobbink und Willems 1987, Carroll et al. 2003, Jacquemyn et al. 2003).

Aufgrund der hohen Deckung offener Bodenstellen und des geringen Feinbodenanteils konnten sich auf dem Rollfeld besonders konkurrenzschwache Arten der Trockenrasen ansiedeln, die an den anderen Standorten zum Teil durch höher wüchsige Arten verdrängt werden. Riemenschneider (1956) beobachtete auf dem Rollfeld noch Initialstadien der Magerrasen mit geringen Deckungen von *Thymus praecox*, *Leontodon incanus* (L.) Schrank und *Anthyllis vulneraria subsp. alpestris* (Kit. ex Schult.) Asch. und Graebn. Pfadenhauer und Liebermann (1986) beschrieben einen Rückgang dieser Pionierarten und eine Zunahme von Süßgräsern und *Carex humilis*. Heute ist *Carex humilis* die Matrixart des Rollfeldes. Auch weitere typische Arten der Altheide konnten sich hier ausbreiten, wie z.B. *Pulsatilla patens* (Röder und Kiehl 2006). Die gesamte Artenzusammensetzung des Standortes gleicht heute der, welche Riemenschneider (1956) für kiesige Böden mit lehmig-feinsandigem Material und lückigem Vegetationsschluss beschrieben hat, mit Vorkommen von *Carex humilis*, *Teucrium montanum*, *Thesium linophyllum* L., *Potentilla incana* P. Gaertn., B. Mey. und Scherb. und *Scabiosa canescens* Waldst. und Kit. Trotz dieser fortschreitenden Sukzession ist das Rollfeld heute noch sehr heterogen. So wechseln Standorte mit fast geschlossener Vegetationsdecke kleinräumig mit Bereichen mit sehr lückiger Vegetation. Dadurch ergibt sich ein Mosaik, das momentan noch vielen konkurrenzschwachen Arten einen Lebensraum bietet (vgl. Jeschke und Kiehl 2006). Bei weiter zunehmender Deckung der Gefäßpflanzen und Moose könnte es aber künftig zum Rückgang von Arten kommen, die auf einen hohen Anteil offener Bodenstellen angewiesen sind. Für solche Pflanzenarten und vor allem für die für das Rollfeld typischen Tierarten wurde 1980 und 2000 auf zwei an das Rollfeld angrenzenden Flächen der Oberboden abgeschoben, deren Vegetationsentwicklung bei Will et al. (2005) beschrieben wird.

Nicht nur in der Altheide und auf dem Rollfeld, sondern auch auf dem ehemaligen Acker kommt heute eine hohe Anzahl von Arten der Halbtrockenrasen vor. Aufgrund des geringen Anteils der Trockenrasenarten ist der Anteil typischer Magerrasenarten insgesamt jedoch wesentlich niedriger als an den anderen beiden Standorten. Auch Untersuchungen in England zeigen, dass sich Magerrasen auf ehemaligen Äckern nur sehr langsam der Vegetationszusammensetzung alter Grasländer annähern. Dort konnten auch nach 100 Jahren noch Unterschiede zwi-

schen der Vegetation ehemaliger Äcker und ursprünglicher Kalkmagerrasen festgestellt werden (Wells et al. 1976, Gibson und Brown 1991). Der Hauptgrund für diese Unterschiede ist vermutlich die langsame Ausbreitung der Zielarten (Hutchings und Booth 1996). *Carex humilis*, die von Pfadenhauer und Liebermann (1986) als fehlend auf dem ehemaligen Acker beschrieben wurde, tritt heute bereits in fast allen Aufnahme­flächen auf. Da *Carex humilis* durch Ameisen ausgebreitet wird (Oberdorfer 2001), verlief die Ausbreitung offenbar schneller als bei anemochoren Arten, wie z.B. *Pulsatilla patens* (vgl. Röder und Kiehl 2006). Auch eine erfolglose Keimung oder Etablierung konkurrenzschwacher Arten im unmittelbaren Umfeld konkurrenzstarker Gräser und Grünlandarten sowie eine dichte Moos­schicht könnte die Ansiedlung von Magerrasen- und Trockenrasenarten auf dem ehemaligen Acker erschweren. Wie bereits 1986 beschrieben (Pfadenhauer und Liebermann 1986), konnte auch heute noch eine Reihe typischer Grünlandarten auf dem ehemaligen Acker gefunden werden, wie z.B. *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl und C. Presl, *Plantago lanceolata* und *Achillea millefolium ssp. millefolium*. Insgesamt ist die Entwicklung des ehemaligen Ackers jedoch positiv zu bewerten und eine weitere floristische Entwicklung in Richtung der Vegetation der Altheide ist zu erwarten.

Perspektiven für die zukünftige Entwicklung der „Garching Heide“

Eine Besonderheit des Naturschutzgebiets „Garching Heide“ ist das Nebeneinander von verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Dadurch bietet die „Garching Heide“ Lebensraum sowohl für Arten der Halbtrockenrasen als auch der Trockenrasen und damit eine hohe Artenvielfalt. Diesen Zustand gilt es zu erhalten.

Im Bereich der Altheide kam es allerdings aufgrund des Stickstoffeintrags durch die Luft und des während der 1990er Jahre bis 2003 nur zwei­jährigen Mahdturnus stellenweise zu einer Vergrasung und Verfilzung der Vegetation, die einen Rückgang der lichtbedürftigen Magerrasen- und Trockenrasenarten bewirken kann. Um eine weitere Vergrasung und Streuakkumulation zu verhindern, ist eine Intensivierung des Mahdturnus der Altheide von zwei­jährig auf ein­jährig notwendig. Seit dem Jahr 2004 wird bei der Streifenmahd (Abb. 13) in der Altheide nur noch jeder fünfte Streifen (und nicht wie zuvor jeder zweite) als Rückzugsraum für Insekten stehen gelassen. Ob diese Mahdintensivierung ausreicht, bleibt zwar abzuwarten, auf dem ehemaligen Acker führte der bisherige ein­jährige Turnus jedoch bereits trotz der hohen Deckung der Süßgräser zu einer geringeren Deckung der Streu als in der Altheide. Eine Aushagerung durch jährliche Mahd ist auf dem ehemaligen Acker dennoch weiterhin notwendig, um die Etablierung der an nährstoffarme Böden angepassten Arten der Trocken- und Halbtrockenrasen zu fördern und die Ausbreitung potentiell dominanter Arten zu verhindern.



Abb. 13 Streifenmähd (August 2006); Foto: Daniela Röder

Fig. 13 Mowing in alternating stripes (August 2006); Photo: Daniela Röder

Um die Entwicklung des ehemaligen Ackers hin zur Altheide zu unterstützen, wäre es zudem von Vorteil, offene Bodenstellen zur Keimung und Etablierung von Magerrasenarten zu schaffen. Dies könnte alle zwei bis fünf Jahre im Anschluss an die Mähd durch maschinelles Rechen (z.B. mit Wiesenegge) geschehen, wodurch die hohe Moosdeckung vermindert würde.

Auch eine Wiedereinführung der Beweidung im Naturschutzgebiet könnte der Vergrasung und Verfilzung entgegen wirken (Hurst und John 1999, Jacquemyn et al. 2003). Auf dem ehemaligen Acker könnte durch Beweidung zudem die Einwanderung von Diasporen aus der Altheide durch zoochore Ausbreitung gefördert werden (vgl. Gibson und Brown 1991, Fischer et al. 1996). Durch die trittbedingte Schaffung von Regenerationsnischen können sich Zielarten möglicherweise besser etablieren, so dass sich die Vegetation des ehemaligen Ackers schneller der der Altheide angleicht.

Das Rollfeld als Sonderstandort und Lebensraum für seltene konkurrenzschwache Trockenrasenarten sollte als solcher erhalten bleiben, da die auf offene Standorte angewiesenen Trockenrasenarten sich nur über kurze Distanzen ausbreiten und neu geschaffene Abtragsflächen nur sehr langsam besiedeln (Will et al. 2005). Die gelegentliche Entbuschung des Rollfeldes sollte daher beibehalten werden, um der fortschreitenden Sukzession entgegenzuwirken. Durch gelegentliches Abrechen der zunehmend durch pleurokarpe Moose und Cladonien dominierten Moos- und Flechtenschicht könnten zudem nicht nur schwachwüchsige Gefäßpflanzen, sondern auch seltene akrokarpe Moose und Erdflechten gefördert werden (vgl. Günzl 2001, Jeschke und Kiehl 2006).

Nach Fischer (2003) ist die Schaffung neuer Abtragsflächen als Habitat für rohbodenbesiedelnde Pflanzen- und Tierarten zu empfehlen. Die Untersuchungen von Will et

al. (2005) zeigen, dass sich auf einer 1980 angelegten Abtragsfläche, die sich nördlich an das Rollfeld anschließt, zahlreiche konkurrenzschwache Pflanzenarten der Trockenrasen ansiedeln konnten. Auf der südlich anschließenden Abtragsfläche von 2000 etablierten sich bis 2004 nur wenige Pflanzenindividuen, was zeigt wie langsam die Besiedlung neuer Flächen vorstatten geht.

Die Anlage weiterer Bodenabtragsflächen als Lebensraum für spezialisierte Rohbodenbesiedler sollte nicht im Naturschutzgebiet selbst erfolgen, in dem der Schutz und die Entwicklung der bestehenden Trocken- und Halbtrockenrasen mit Hilfe der oben genannten Pflegemaßnahmen Priorität hat. Sinnvoll ist der Oberbodenabtrag dagegen bei der Anlage neuer Magerrasen auf ehemaligen Äckern, die direkt an das Naturschutzgebiet angrenzen (Pfadenhauer und Kiehl 2003). Das Beispiel der 1993 angelegten Bodenabtragsfläche 506A zeigt, dass durch Bodenabtrag in Kombination mit Mähgutübertragung günstige Bedingungen für zahlreiche Zielarten des Naturschutzes geschaffen werden können (Jeschke und Kiehl 2006, Kiehl und Wagner 2006). Durch das Nebeneinander unterschiedlich alter Bodenabtragsflächen im Naturschutzgebiet selbst und auf den umliegenden Renaturierungsflächen können sowohl Pionierarten initialer Magerrasen (z.B. *Biscutella laevigata*, *Leontodon incanus*) als auch langsam wachsende konkurrenzschwache Chamaephyten, wie z.B. *Globularia cordifolia* oder *Polygala chamaebuxus* geeignete Lebensräume finden.

Literatur

- Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) Eckelmann W., (Red.); Sponagel H, Grottenthaler W, Hartmann K-J, Hartwich R, Janetzko P, Joisten H, Kühn D, Sabel K-J, Traidl R: Bodenkundliche Kartieranleitung 5, verbesserte und erweiterte Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Hannover. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.) (2000) Bestimmungsschlüssel für Flächen nach Art. 13d(1) BayNatSchG, Augsburg
- Bender O, Boehmer HJ, Jens D, Schumacher KP (2005) Analysis of land-use change in a sector of Upper Franconia (Bavaria, Germany) since 1850 using land register records. *Landscape Ecology* 20:149-163
- Benjamini Y, Hochberg Y (1995) Controlling the false discovery rate – a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* 57:289–300
- Beinlich B, Manderbach D (1995) Die historische Landschafts- und Nutzungsentwicklung in Württemberg unter besonderer Berücksichtigung der Schwäbischen Alb. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 83:65-86
- Bobbink R, Willems JH (1987) Increasing dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. in chalk grasslands: A threat to a species-rich ecosystem. *Biological Conservation* 40:301-314
- Carroll JA, Caporn SJM, Johnson D, Morecroft M, Lee JA (2003) The interactions between plant growth, vegetation structure and soil processes in semi-natural acidic and calcareous grasslands receiving long-term inputs of simulated pollutant nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 121:363-376
- Council of Europe (1979) Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/104.htm> (30.08.2005)
- Dengler J (2005) Zwischen Estland und Portugal - Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Phyto-diversitätsmuster europäischer Trockenrasen. *Tuexenia* 25:387-405.
- Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366
- During HJ, Willems JH (1984) Diversity models applied to a chalk grassland. *Vegetatio* 57:103-114
- Fetzer KD, Grottenthaler W, Hofmann B, Jerz H, Rückert G, Schmidt F, Wittmann O (1986) Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50 000 München-Augsburg und Umgebung. Erläuterungen. Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Fischer S, Poschold P, Beinlich B (1996) Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands. *Journal of Applied Ecology* 63:1206-1221
- Fischer FP (2003) Langzeitmonitoring von Heuschreckenbeständen im NSG „GarchingerHeide“ 1994-2001. In: Pfadenhauer J, Kiehl K (Hrsg.) Renaturierung von Kalkmagerrasen - Angewandte Landschaftsökologie 55:201-209
- Geisel O (1989) Von den Anfängen zum heutigen Naturschutzgebiet – und die Zukunft? In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Echinger Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp. 76-80
- Gibson CWD, Brown VK (1991) The nature and rate of development of calcareous grasslands in southern Britain. *Biological Conservation* 58:297-316
- Günzl B (2001) Die Bunte-Erdflechten-Gesellschaft (Toninio-Psoretum decipiens Stodiek 1937) in Nordhessen - aktuelle Erfassung und Gliederung. *Tuexenia* 21:179-191
- Hepp E, Poelt J (1970) Die Garchinger Heide. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 42:5-14
- Hurst H, John E (1999) The biotic and abiotic changes associated with *Brachypodium pinnatum* dominance in chalk grassland in south-east England. *Biological Conservation* 88:75-84
- Hutchings MJ, Booth KD (1996) Studies on the feasibility of re-creating chalk grassland vegetation on ex-arable land. I. The potential roles of the seed bank and the seed rain. *Journal of Applied Ecology* 33:1171-1181
- Jacquemyn H, Brys R, Hermy M (2003) Short-term effects of different management regimes on the response of calcareous grassland vegetation to increased nitrogen. *Biological Conservation* 111:137-147
- Jeschke M, Kiehl K (2006) Auswirkung von Renaturierungs- und Pflegemaßnahmen auf die Artenzusammensetzung und Artendiversität von Gefäßpflanzen und Kryptogamen in neu angelegten Kalkmagerrasen. *Tuexenia* 26:223-242
- Kaufhold G (1990) Modellvorhaben Sicherung und Verbesserung der Heideflächen im Norden von München. Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 105:7-25
- Kiehl K, Thormann A, Pfadenhauer J (2006) Evaluation of initial restoration measures during the restoration of calcareous grasslands on former arable fields. *Restoration Ecology* 14:148-156
- Kiehl K, Jeschke M (2005) Erfassung und Bewertung der Phytodiversität ursprünglicher und neu angelegter Kalkmagerrasen der nördlichen Münchner Schotterebene. *Tuexenia* 25:445-461
- Kiehl K, Wagner C (2006) Effects of hay transfer on long-term establishment of vegetation and grasshoppers on former arable fields. *Restoration Ecology* 14:157-166
- Kiehl K, Thormann A, Pfadenhauer J (2003) Nährstoffdynamik und Phytomasseproduktion in neu angelegten Kalkmagerrasen auf ehemaligen Ackerflächen. In: Pfadenhauer J, Kiehl K (Hrsg.) Renaturierung von Kalkmagerrasen - Angewandte Landschaftsökologie 55:39-71

- Kollmansberger G, Geisel O (1989a) Archäologen auf der Heide. In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Echinger Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp.54-60
- Kollmansberger G, Geisel O (1989b) Hochäcker in Heide und Lohe. In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Echinger Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp. 63-64
- Kollmansberger G, Geisel O (1989c) Die Rettung der Garchinger Heide. In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Echinger Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp. 73-75
- Kollmansberger G, Geisel O (1989d) Soldaten auf der Heide. In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Echinger Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp. 66-67
- Korneck D, Müller T, Oberdorfer, E (1993) Sand- und Trockenrasen, Heide- Borstgras-Gesellschaften, alpine Magerrasen, Saum-Gesellschaften, Schlag- und Hochstauden-Fluren. In: Oberdorfer E. (Hrsg.) Süd-deutsche Pflanzengesellschaften. Teil 2. Gustav Fischer Verlag, Jena
- Lang A, Walentowski H, Lorenz W (2004) Kartieranleitung für die Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Bayern, 5. Entwurf. Bayer. Landesamt für Umweltschutz, Bayer. Landesanstalt f. Wald und Forstwirtschaft, Augsburg, Freising
- Leuschner C (1989) Zur Rolle der Wasserverfügbarkeit und des Stickstoffangebots als limitierende Standortfaktoren in verschiedenen basiphytischen Trockenrasen-Gesellschaften des Oberelsaß, Frankreich. *Phytocoenologia* 18:1-54
- McCune B, Mefford MJ (1999) Multivariate analysis of ecological data. Version 4.27, MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA
- Miller U, Pfadenhauer J (1997) Renaturierung von Kalkmagerrasen. Zur Vorhersage der gelenkten Sukzession durch Aufbringung von diasporenhaltigem Mähgut. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 27:155-163
- Neitzke M (1998) Changes in nitrogen supply along transects from farmland to calcareous grassland. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161:639-646
- Oberdorfer E (2001) Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- Peet RK, Glenn-Lewin DC, Walker Wolf J (1983) Prediction of man's impact on plant diversity: a challenge for vegetation science. In: Holzner W., Werger MJ, Ikusima I (eds.) *Man's impact on vegetation*. Dr. W. Junk, The Hague, pp. 41-54
- Pegtel DM, Bakker JP, Verweij GL, Fresco LFM (1996) N, K, and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grassland on gley podsol after the cessation of fertilizer application. *Plant and Soil* 178:121-131
- Pfadenhauer J (2002) Landnutzung und Biodiversität – Beispiele aus Mitteleuropa. *Laufener Seminarbeitrag* 2/02, pp. 145-159
- Pfadenhauer J (2001) Some remarks on the socio-cultural background of restoration ecology. *Restoration Ecology* 9:220-229
- Pfadenhauer J, Kiehl K (2003) Renaturierung von Kalkmagerrasen – Ein Überblick. In: Pfadenhauer J, Kiehl K (Hrsg.) *Renaturierung von Kalkmagerrasen*. *Angewandte Landschaftsökologie* 55:25-38
- Pfadenhauer J, Liebermann C (1986) Eine geobotanische Dauerbeobachtungsfläche im Naturschutzgebiet Garchinger Heide. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 57:99-110
- Pfadenhauer J, Miller U (2000) Verfahren zur Ansiedlung von Kalkmagerrasen auf Ackerflächen. In: Pfadenhauer J, Fischer FP, Helfer W, Joas C, Löscher R, Miller U, Miltz C, Schmid H, Sieren E, Wiesinger K *Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München.. Angewandte Landschaftsökologie* 32:37-87
- Poschold P, WallisDeVries MF (2002) The historical and socio-economic perspective of calcareous grasslands. *Lessons from the distant and recent past. Biological Conservation* 104:361-376
- Quinger B, Bräu M, Kornprobst M (1994) Lebensraumtyp Kalkmagerrasen. *Landschaftspflegekonzept Bayern - Band II.1*. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Bayerische Akademie für Landschaftspflege und Naturschutz, München
- Rennwald E (2000) Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 35
- Riemenschneider M (1956) Vergleichende Vegetationsstudien über Heidewiesen im Isarbereich. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 31:75-120
- Ringler A (2002) Magerrasen in einer neuorientierten Agrarlandschaft. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz* 167:9-22
- Röder D, Kiehl K (2006) Population structure and population dynamic of *Pulsatilla patens* (L.) MILL. in relation to vegetation characteristics. *Flora* 201 (im Druck)
- Schauer T (1969) Die Flechtenvegetation der Kiesfläche auf der Garchinger Heide nordlich von München. *Herzogia* 1:181-186
- Scheffer F, Schachtschabel P (2002) *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Scheuerer M, Ahlmer W (2003) Rote Liste gefährdeter Gefäßpflanzen Bayerns mit regionalisierter Florenliste. *Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz* 165

- Schlichting E, Blume H-P, Stahr K (1995) Bodenkundliches Praktikum: eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. 2. Auflage. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin
- Sendtner O (1854) Vegetations-Verhältnisse Südbayerns nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie und mit Bezugnahme auf Landescultur. Literarisch-artistische Anstalt, München
- Skinner RJ, Todd AD (1998) Twenty-five years of monitoring pH and nutrient status of soils in England and Wales. *Soil Use and Management* 14:162-169
- Unkovich M, Jamieson N, Monaghan R, Barraclough D (1998) Nitrogen mineralization and plant nitrogen acquisition in a nitrogen-limited calcareous grassland. *Environmental and Experimental Botany* 40:209-219
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) (1991) Methodenbuch Band I.: Die Untersuchung von Böden. A 5.1.1. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) (2002) Methodenbuch Band I.: Die Untersuchung von Böden. 3. Teillieferung A 6.2.1.1. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- Verhoeven KJF, Simonsen KL, McIntyre LM (2005) Implementing false discovery rate control: increasing your power. *Oikos* 108:643-647
- Vollmann F (1911) Das Schutzgebiet der Bayerischen Botanischen Gesellschaft auf der Garchinger Heide. *Mitteilungen der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 2:312-318
- Wells TCE, Sheail J, Ball DF, Ward LK (1976) Ecological studies on the Porton Ranges: Relationships between vegetation, soils and land-use history. *Journal of Ecology* 64:589-626
- Will H, Eichinger N, Röder D, Kiehl K (2005) Vergleich der Vegetation unterschiedlich alter Bodenabtragsflächen im Naturschutzgebiet Garchinger Heide. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 75:169-180
- Willems JH, Peet RK, Bik L (1993) Changes in chalkgrassland structure and species richness resulting from selective nutrient additions. *Journal of Vegetation Science* 4:203-212
- Willems JH (2001) Problems approaches and results in restoration of Dutch calcareous grasslands during the last 30 years. *Restoration Ecology* 9:147-154
- Windolf R (1989) Die geologische Geschichte des G`filds. In: Gemeinde Eching, Landkreis Freising (Hrsg.) Garchinger Heide, Eching Lohe, Naturschutzgebiete in der Gemeinde Eching, Landkreis Freising. Bruckmann Verlag und Druck GmbH, München, pp. 13-15
- Wittmann O (1983) Standörtliche Landschaftsgliederung von Bayern. Bayerisches Geologisches Landesamt, München

Anhang 1 – Deckung aller gefundenen Gefäßpflanzen (in %) sortiert nach Artengruppen, die nur auf dem Rollfeld, in der Altheide oder auf dem ehemaligen Acker vorkommen bzw. dort eine höhere Steigtigkeit (jeweils mind. 10%-Punkte mehr als in den anderen Gebieten) und eine höhere Deckung als auf den anderen Standorten haben.

Appendix 1 – Cover of all Phanerogams found (in %), arranged by groups of species which occurred only on the „Rollfeld“, the ancient grassland and the ex-arable field, or which occurred with a higher frequency (> 10 %) or a higher cover (> 10 %) than on the other sites.

Anhang 2 – Abkürzungen der Arten der DCA (s. Abb. 9)**Appendix 2** – Abbreviations of species names in the DCA (see Fig. 9)

| | |
|---|--|
| achmil: <i>Achillea millefolium</i> | glopun: <i>Globularia punctata</i> |
| adover: <i>Adonis vernalis</i> | gymcon: <i>Gymnadenia conopsea</i> |
| allcar: <i>Allium carinatum</i> | helnum: <i>Helianthemum nummularium</i> ssp. <i>obscurum</i> |
| antram: <i>Anthericum ramosum</i> | hiepia: <i>Hieracium pilosella</i> |
| antvul: <i>Anthyllis vulneraria</i> | hipcom: <i>Hippocrepis comosa</i> |
| arrela: <i>Arrhenatherum elatius</i> | inuhir: <i>Inula hirta</i> |
| aspcyn: <i>Asperula cynanchica</i> | koepyr: <i>Koeleria pyramidata</i> |
| asptin: <i>Asperula tinctoria</i> | leohis: <i>Leontodon hispidus</i> |
| avepra: <i>Helictotrichon pratensis</i> | leoinc: <i>Leontodon incanus</i> |
| betoff: <i>Betonica officinalis</i> | lincat: <i>Linum catharticum</i> |
| bislae: <i>Biscutella laevigata</i> | linper: <i>Linum perenne</i> |
| brapin: <i>Brachypodium rupestre</i> | lotcoc: <i>Lotus corniculatus</i> ssp. <i>corniculatus</i> |
| brimed: <i>Briza media</i> | lotcoh: <i>Lotus corniculatus</i> ssp. <i>hirsutus</i> |
| broere: <i>Bromus erectus</i> | peuore: <i>Peucedanum oreoselinum</i> |
| bupsal: <i>Buphthalmum salicifolium</i> | pimsax: <i>Pimpinella saxifraga</i> |
| camglo: <i>Campanula glomerata</i> | plalan: <i>Plantago lanceolata</i> |
| camrot: <i>Campanula rotundifolia</i> | plamed: <i>Plantago media</i> |
| caraca: <i>Carlina acaulis</i> | polama: <i>Polygala amarella</i> |
| carcar: <i>Carex caryophyllea</i> | polcha: <i>Polygala chamaebuxus</i> |
| cardef: <i>Carduus defloratus</i> | polodo: <i>Polygonatum odoratum</i> |
| careri: <i>Carex ericetorum</i> | polvul: <i>Polygala vulgaris</i> |
| carhum: <i>Carex humilis</i> | potalb: <i>Potentilla alba</i> |
| carmon: <i>Carex montana</i> | potare: <i>Potentilla incana</i> |
| cenjac: <i>Centaurea jacea</i> ssp. <i>angustifolia</i> | prugra: <i>Prunella grandiflora</i> |
| censca: <i>Centaurea scabiosa</i> | pulpat: <i>Pulsatilla patens</i> |
| charat: <i>Chamaecytisus ratisbonensis</i> | pulvul: <i>Pulsatilla vulgaris</i> |
| corvag: <i>Coronilla vaginalis</i> | rhasax: <i>Rhamnus saxatilis</i> |
| dansp: <i>Danthonia decumbens</i> | rhigla: <i>Rhinanthus glacialis</i> |
| dapcne: <i>Daphne cneorum</i> | salpra: <i>Salvia pratensis</i> |
| dorger: <i>Dorycnium germanicum</i> | salele: <i>Salix eleagnos</i> |
| eriher: <i>Erica herbacea</i> | sanmin: <i>Sanguisorba minor</i> |
| eupcyp: <i>Euphorbia cyparissias</i> | scacan: <i>Scabiosa canescens</i> |
| eupver: <i>Euphorbia verrucosa</i> | scacol: <i>Scabiosa columbaria</i> |
| fesrub: <i>Festuca rubra</i> | senjac: <i>Senecio jacobaea</i> |
| fesrup: <i>Festuca rupicola</i> | silnut: <i>Silene nutans</i> |
| filvul: <i>Filipendula vulgaris</i> | taroff: <i>Taraxacum officinale</i> agg. |
| galbor: <i>Galium boreale</i> | teumon: <i>Teucrium montanum</i> |
| galmol: <i>Galium mollugo</i> | thelin: <i>Thesium linophyllum</i> |
| genclu: <i>Gentiana clusii</i> | thypra: <i>Thymus praecox</i> |
| gentin: <i>Genista tinctoria</i> | trimon: <i>Trifolium montanum</i> |
| genver: <i>Gentiana verna</i> | verspi: <i>Veronica spicata</i> |
| glocor: <i>Globularia cordifolia</i> | viohir: <i>Viola hirta</i> |