Kontinuierliche Dauerflächen-Untersuchungen in beweideten und unbeweideten Sandrasen und ihren Gebüschstadien im Naturschutzgebiet „Griesheimer Düne und Eichwäldchen“ (Südhessen): floristisch-strukturelle Veränderungen in bis zu 23 Vegetationsperioden

Angelika Schwabe, Rainer Cezanne, Marion Eichler & Christian Storm

Zusammenfassung: Im Naturschutzgebiet „Griesheimer Düne und Eichwäldchen” (Südhessen) konnten in Beständen der steppenartigen Sandrasen des Allio-Stipetum capillatae und korrespondierenden Gehölzstadien im Jahre 2000 insgesamt 5 × 2 Dauerflächen auf sehr nährstoffarmem Sand angelegt werden, die jeweils erstbeweidete (Schaf, in geringerem Umfang zusätzlich Esel) und unbeweidete (gezäunte) Plots aufweisen. Drei der Flächenpaare (S2, S3, S4), die einen Sukzessions- und Ruderalisierungsgradienten widerspiegeln, sind 23 Vegetationsperioden kontinuierlich mit pflanzensoziologischen Aufnahmen dokumentiert worden, die anderen beiden gehölzreicheren Flächen 14 (G1) oder 15 Jahre (S1). In der langen Untersuchungsperiode traten insgesamt 5 extreme Hitze-/Trockenheitsjahre auf.

In einer „Detrended Correspondence Analysis” (DCA) wird die floristische Struktur der Flächenpaare für den Untersuchungszeitraum mit Vektoren unter Einbeziehung von verschiedenen Variablen dargestellt (zum Beispiel Zielartenindex = Target Species Ratio: TSR). Die erste Achse der DCA spiegelt den Sukzessionsgradienten wider (von links nach rechts fortschreitende Sukzession). Die zweite Achse zeigt den Grad der Ruderalisierung (stärker werdend von oben nach unten, verbunden mit zunehmender Deckung der Artemisietea- und Agropyretea-Arten).

Zur weiteren Analyse wurden alle Aufnahmen der gesamten Jahre in einer Tabelle generiert und die Trends der Zunahme oder Abnahme von Arten mit linearen Regressionen berechnet. In einer Tabelle werden alle Aufnahmepaare (komprimiert für den gesamten Untersuchungszeitraum) unbeweidet (U) und beweidet (B) dargestellt mit den jeweiligen Pearsonschen Korrelationskoeffizienten der Änderungstendenzen der Arten. Weitere Analysen erfolgten für einfache und integrierende Parameter in Linien- und Säulendiagrammen.

Naturschutzrelevante positive Beweidungseffekte treten vor allem bei integrierenden Parametern deutlich hervor. So weisen die beweideten Plots der Langzeitflächen S2 bis S4 weitaus höher Werte des Zielartenindex auf als die unbeweideten und zeigen eine höhere Zahl an Koelerio-Corynephoretea-Arten. Ferner tritt bei den beweideten Flächen eine Zurückdrängung der Ruderalisierung ein (Abnahme von Agropyretea- und Artemisietea-Arten), vor allem im Flächenpaar S3 und S4, wo zu Beginn der Untersuchungen bereits Ruderalisierung festzustellen war. Allgemein ist das Vordringen der ruderalen Graminoiden auf diesem nährstoffarmen Substrat vor allem in den letzten gut 10 Jahren durch die Trocken-/Hitzejahre geringer als in niederschlagsreicheren Jahren und auf nährstoffreicheren Flächen.

Bei der Betrachtung der Gesamtartenzahl, der Zahl der Rote-Liste-Arten und der Zahl der annuellen Arten kann der allgemeine Artenrückgang sowohl in unbeweideten als auch in beweideten Flächen unter dem Einfluss von 5 starken Trocken-/Hitzejahren aufgezeigt werden. Rückgänge und Erholungen im nächsten Jahr zeigen insbesondere die Annuellen, die zum Teil Rote-Liste-Arten sind. Die positiven Ausschläge im Folgejahr nach Trocken-/Hitzejahren wurden im Laufe der Jahre geringer, so dass langfristig mit einer Verarmung der Diasporenbank im Boden zu rechnen ist. Trotz dieser Rückgänge zeigt das Allio-Stipetum capillatae mit der Vielzahl der vorhandenen Zielarten noch eine hohe Qualität aus Sicht des Naturschutzes. Die aktuelle Situation nach diesen Klimaextremen ist für zukünftige Jahre ein Modell, da sich Extreme nach den Klimaprognosen in den nächsten Jahrzehnten wiederholen werden.

In den Dauerflächen gelang es kaum, Arten des Koelerion glaucae zu fördern, insbesondere nicht die Art *Koeleria glauca*. In einem beweideten Plot (S2B) stellte sich jedoch *Phleum arenarium* im Jahr 2018 neu ein. Eine Alt-Dauerfläche mit Vegetation des Koelerion glaucae (steil, WSW-exponiert und von Kaninchen beeinflusst) aus dem Jahre 1998 zeigte im Vergleich zu 2023, dass sich diese Bestände durchaus über gut 20 Jahre mit vielen Zielarten erhalten können. Auf der gesamten Düne hat das Koelerion glaucae allerdings bereits seit den 1980er Jahren stark an Fläche verloren. Vitale Bestände des Koelerion glaucae finden sich auf der Griesheimer Düne noch auf diesen Sonderstandorten sowie in wenigen anderen Naturschutzgebieten auf in den letzten Jahrzehnten gestörten Flächen und auch auf solchen, die mit kalkreichem Tiefensand und Diasporen-Inokulation im weiteren Darmstädter- und Darmstadt-Dieburger-Gebiet restituiert wurden.

Continuous permanent-plot studies in grazed and ungrazed sandy grasslands and their shrub stages in the nature reserve "Griesheimer Düne und Eichwäldchen" (southern Hesse, Germany): floristic-structural changes in up to 23 vegetation periods

Summary: Since the year 2000 we studied in the nature reserve 'Griesheimer Düne und Eichwäldchen' (southern Hesse) in sites of steppe-like sandy grassland (Allio-Stipetum capillatae and corresponding stages with shrubs) permanent plots on nutrient-poor sand. On the one hand the newly erected plots had been grazed since this year by sheep (additionally to a lesser extent by donkeys) and to the other hand fenced plots had been erected side-by-side to the grazed plots without livestock grazing (a total of 2 × 5 plots). Three of the paired treatments (S2, S3, S4), which reflect gradients of succession and ruderalization, have been yearly sampled with phytosociological relevés for 23 vegetation periods. Two paired treatments with shrubs have been sampled for 14 (G1) respectively for 15 years (S1). In the long study period all in all five years with extreme heat/drought occurred.

We present the floristic structure of the paired treatments for the investigation period by means of a 'Detrended Correspondence Analysis' (DCA) complemented by vectors, showing different variables (e. g., Target Species Ratio: TSR). The first axis of the DCA mirrors the successional gradient (successional progress from left to right). The second axis shows the degree of ruderalization (increasing from top to down, interconnected with increasing cover of species of Artemisietea and Agropyretea).

We generated all relevés of all plots and years in a table for further analysis. Trends of increase and decrease of species were analyzed by means of linear regressions. We compiled in this table all pairs of relevés (ungrazed: U/grazed: B) for all years with the respective Pearson's correlation coefficients of the species.

Further analyses were made for simple and integrating parameters and depicted in line diagrams and bar charts. Positive grazing effects (from the view of nature preservation) could be shown especially by using integrating parameters. E. g., grazed plots of the long-time records S2, S3, S4 showed by far higher values of the TSR than the ungrazed plots and a higher number of Koelerio-Corynephoretea-species. Further there was a decrease of ruderalization in the grazed plots (decrease of Agropyretea- and Artemisietea-species), especially in S3 and S4, were ruderalization was already observed in the year 2000. In general, the increase of ruderal graminoids was in the last ten years lower on these nutrient-poor substrates due to years with great heat/drought compared to years with more precipitation or on more nutrient-rich plots.

If the whole species numbers, numbers of Red-listed species and numbers of annual species are regarded, the general decrease of species under the impact of five heat and drought years can be detected in ungrazed as well as in grazed plots. Decreases and recovery in the following year were especially observed in the case of annual species (partly Red-listed). Positive swings in the respective following year after a heat-/drought year became lower during the time period, therefore it is supposed that the seed bank in the soil will become more and more depleted. Despite the decrease of species, the Allio-Stipetum capillatae has still a great proportion of target species and represents high-quality steppe-like sandy grassland from the view of nature conservation. The actual climatic situation outlines the model for the future because such extremes will be repeated in the next decades.

It was hardly possible to facilitate the frequency of occurrences of Koelerion glaucae species, especially of *Koeleria glauca*. In a grazed plot (S2B) there was a new record of *Phleum arenarium* in the year 2018. An old permanent plot (year 1998) of Koelerion glaucae vegetation (steep, exposed west-south-west, influenced by rabbits) showed in comparison to 2023, that such stands can keep their high floristic quality with a lot of target species over 20 years. However, in the whole study site stands of Koelerion glaucae decreased dramatically. Stands with high vitality of Koelerion glaucae were only present on special sites, mainly with recent disturbances of the substrates. In the area of Darmstadt and Darmstadt-Dieburg especially on sites with management measures (transfer of calcareous deep sand and seed transfer), vital vegetation of Koelerion glaucae could be restored.

Angelika Schwabe, Fachbereich Biologie, Technische Universität Darmstadt, Schnittspahnstraße 10; 64287 Darmstadt; schwabe@bio.tu-darmstadt.de
Rainer Cezanne, Büro für Vegetationskunde und Lichenologie, Kaupstraße 43; 64289 Darmstadt; rainer.cezanne@t-online.de
Marion Eichler, Bürogemeinschaft Angewandte Ökologie, Kaupstraße 43; 64289 Darmstadt; m.eichler@bg-ang-oekologie.de
Christian Storm, Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Chemische Pflanzenökologie, Technische Universität Darmstadt, Schnittspahnstraße 10; 64287 Darmstadt; storm@bio.tu-darmstadt.de

1. Einführung und Gebietsbeschreibung

Vor dem Hintergrund von Management-Maßnahmen in Schutzgebieten und zunehmenden abiotischen Stressfaktoren wie Hitze- und Trockenperioden ist die langfristige wissenschaftliche Begleitung von aus Naturschutzsicht wertvollen Vegetationstypen von großer Bedeutung. In ganz Deutschland ist für die letzten Jahrzehnte übergreifend festzustellen, dass es nur wenige Gewinner und viele Verlierer unter den Pflanzenarten gibt (Jandt & al. 2022).

Die Arbeitsgruppe Vegetations- und Restitutionsökologie der TU Darmstadt hat im Rahmen verschiedener Projekte seit dem Jahre 2000 damals neu etablierte Beweidungsprojekte in der gefährdeten Sandvegetation der hessischen Oberrheinebene (Landkreis Darmstadt-Dieburg und Stadt Darmstadt) wissenschaftlich begleitet. Der Hintergrund war, durch extensive Beweidung die Ruderalisierungs- und Sukzessionsprozesse, die auch in hochkarätigen Gebieten zu beobachten waren, hin zu einer nicht-ruderalen Entwicklung zu lenken. Die beiden Zielgesellschaften der basenreichen Sande, das Jurineo cyanoidis-Koelerietum glaucae (oft fragmentarisch) auf kaum konsolidierten Sanden und bei stärkerer Verfestigung von Kalkflugsanden das Allio sphaerocephali-Stipetum capillatae (Abb. 1), sollten im Mosaik erhalten beziehungsweise entwickelt werden. Beide sind auch als bedrohte Lebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie ausgewiesen

Abb. 1: Landschaftsaspekt des Allio-Stipetum capillatae im Ostteil der Griesheimer Düne mit den vorjährigen Halmen von *Stipa capillata* und dem Blühaspekt von *Euphorbia cyparissias*. 6. 5. 2005, A. Schwabe. – Landscape aspect of the Allio-Stipetum capillatae in the eastern part of the 'Griesheimer Düne' with the last year's stalks of *Stipa capillata* and the flowering aspect of *Euphorbia cyparissias*.

(6120 „Trockene, kalkreiche Sandrasen“, 6240 „Subpannonische Steppen-Trockenrasen“, Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992, European Commission 2013). Die Überlebensfähigkeit des Jurineo cyanoidis-Koelerietum glaucae kann bei spontaner Sukzession (das heißt ohne Bodenstörungen) nach Volk (1931), dem Autor dieser Assoziation, über 60 Jahre betragen.

Ob es gelingen kann, nur durch Beweidung Bestände des Koelerion glaucae zu entwickeln oder zu vergrößern, war unklar, da allgemein davon ausgegangen wird, dass für die Restitution dieser Gesellschaft eine stärkere Bodenbewegung notwendig ist, so dass mit kalkreichem Tiefenboden das benötigte Substrat entsteht. Verschiedene Projekte mit Tiefensandaufschüttung haben den Erfolg der Etablierung des Koelerion glaucae auf diesem Substrat dokumentiert (zum Beispiel Storm & al. 2016, zusammenfassend in Schwabe & al. 2015).

Im Jahre 2000 konnten wir nicht vorhersehen, welche Probleme durch starke abiotische Stressoren entstehen, die in diesem Maße noch nicht aufgetreten waren. So gab es zwischen 2000 und 2022 insgesamt 5 extreme Trocken- beziehungsweise Hitzejahre (siehe Kapitel 2).

Die von uns hier untersuchte „Griesheimer Düne mit Eichwäldchen“ (45 ha; Dünen bis 5 m Höhe, 8°34′ E, 49°50′ N, Naturschutzgebiet auf Darmstädter Gemarkung, Kerngebiet seit 1953 geschützt) ist eines der besten Beispiele für basenreiche subkontinental getönte Sandvegetation in Deutschland. Das Gebiet ist auch als Fauna-Flora-Habitat-Gebiet ausgewiesen und gehört zum gut 300 ha großen EU-Vogelschutzgebiet „Griesheimer Sand“ (Storm & al. 2022). Es ist nicht nur reich an gefährdeten Pflanzenarten und Vegetationstypen basenreicher Sande, sondern auch an xerobionten Tierarten, vor allem Arthropoden wie Wildbienen (Beil & Kratochwil 2004, Beil & al. 2014), Heuschrecken und Tagfaltern (Rausch in Cezanne & Hodvina 2003, Schurian & Klinger 2021), Raubfliegen (Geller-Grimm 1995, siehe dazu auch Abb. 6.38 nach Geller-Grimm 1995 bei Kratochwil & Schwabe 2001) sowie vielen anderen taxonomischen Gruppen.

Noch in den 1950er bis in die 1970er Jahre handelte es sich im Offenland des Untersuchungsgebietes um ein Mosaik von Beständen des Koelerion glaucae (mit der FFH-Anhang II-Art *Jurinea cyanoides*) und dem Allio-Stipetum capillatae (Ackermann 1954, Korneck 1974, Cezanne 1983). 1972 fand ein widerrechtliches Planieren und Umpflügen eines Teiles der Offenlandgebiete statt (Hillesheim-Kimmel & al. 1978). Beginnend in den 1980er und dann in den 1990er Jahren waren durch fehlende Nutzung beziehungsweise Pflege und wahrscheinlich auch eutrophierende Randeffekte der dicht anschließenden landwirtschaftlichen Intensivkulturen (zum Beispiel Spargel) starke Ruderalisierungen vor allem mit *Calamagrostis epigejos* und Taxa der *Oenothera biennis*-Gruppe zu verzeichnen; das Koelerion glaucae kam Anfang der 1990er Jahre bereits nur noch sehr kleinflächig vor. *Jurinea cyanoides* war seit den späten 1970er Jahren verschollen (Cezanne 1983), wurde aber in jüngerer Zeit wieder eingebracht (siehe unten).

Ab 2000 konnte das Offenland-Gebiet der Griesheimer Düne in ein Beweidungsmanagement mit genügsamen Schafrassen einbezogen werden und später zusätzlich auch mit Eseln, das durch den Landschaftspflegehof Stürz durchgeführt wird. Die Wanderschafherde hat eine Größe von 300 bis 500 Muttertieren (während der Lammsaison bis zu 800 Tiere). In zeitweise gezäunten Parzellen erfolgt die Beweidung, nach einer intensiveren Periode am Anfang der 2000er Jahre zur Instandsetzung der Flächen (Zehm &

Zimmermann 2004), jeweils nur wenige Tage (zumeist im Frühsommer). Nachtpferche werden bei dieser kurzen Periode nicht eingerichtet. Vor allem im Winter und Frühling findet ergänzend eine Eselbeweidung mit niedriger Besatzdichte statt, um die Nahrungswahl der Schafe zu ergänzen, vor allem hinsichtlich ruderaler Gräser, die von Eseln bevorzugt gefressen werden, wie *Calamagrostis epigejos*. Auch dynamische Bodenbewegungen werden durch die Eselbeweidung gefördert (zum Beispiel Wälzkuhlen im Sand); siehe Grundlagenuntersuchungen dazu von Süß & Schwabe (2007). Die hier entwickelten und wissenschaftlich begleiteten Beweidungspraktiken sind auch in die Leitlinien für die Bewirtschaftung der oben genannten Fauna-Flora-Habitat-Typen für Hessen eingegangen (HLNUG 2023).

In dieser Studie behandeln wir die Ergebnisse von kontinuierlichen, langjährigen Dauerflächen-Untersuchungen, die einen Gradienten des Allio-Stipetum capillatae von offeneren (zum Teil mit Elementen des Koelerion glaucae durchsetzten) über ruderalisierte Bestände bis zu Gebüsch-reichen Stadien repräsentieren sowie einer Einzelfläche mit Vegetation des Koelerion glaucae und ihrer Entwicklung.

Wir stellten uns vor allem die folgenden Fragen:

1. Welche Beweidungseffekte gab es im Allio-Stipetum capillatae (mit verschiedenen Ruderalisierungsgraden) im Laufe von mehr als 20 Jahren?
2. Wie entwickelten sich die Artenzahlen in beweideten und unbeweideten Flächen unter dem Einfluss von extremen Trocken- und Hitzejahren?
3. Welche Rolle spielen Gehölze in der Sukzession?
4. Wie ist die zukünftige Entwicklung des Koelerion glaucae im Gebiet zu beurteilen?

2. Physisch- und anthropo-geographische Faktoren

Die basenreichen Sande am Oberrhein wurden im Spätglazial durch äolischen Transport aus den Rheinterrassen abgelagert und im frühen Postglazial und jüngeren Zeiten vielfach äolisch umgelagert. Vor allem seit dem Mittelalter begünstigten Rodungen und militärische Nutzung diese Sanddynamik, so dass sich immer wieder offene Sande bildeten (Ambos & Kandler 1987). Auch der heutige Offenland-Bereich der Griesheimer Düne wurde bis in die frühen 1940er Jahre militärisch genutzt. Stetige Bodenbewegung war mit dieser Militärnutzung (vor allem als Artillerie-Schießplatz) verbunden. Nach dem 2. Weltkrieg wurde der größte Teil des Griesheimer Sandes in Kultur genommen (vor allem Spargelanbau), so dass die wertvolle Sandvegetation bis auf wenige Schutzgebiete stark dezimiert worden ist (Zehm & Zimmermann 2004, mit einem Luftbild aus dem Jahre 1934).

Die mittlere Jahreslufttemperatur im Gebiet beträgt nach langjährigem Mittel 1981 bis 2010 10,5 °C, von 2004 bis 2020 11,3 °C; die Niederschläge betragen 630 mm im Jahr. Im meteorologischen Frühling liegt der langjährige Temperaturwert bei im Mittel 11 °C, der Niederschlagswert bei 135 mm, im Sommer bei 19,7 °C und 180 mm. In der Untersuchungsperiode zwischen 2000 und 2022 gab es mehrere extreme Hitze- beziehungsweise Trockenjahre mit Temperaturerhöhungen von im Mittel ≥ 2 °C beziehungsweise Niederschlagsabnahmen von mindestens 30 %; dies gilt vor allem für die Zeit nach

2010 (in Klammern: Abweichungen vom Mittelwert 1961 bis 1990); Daten für Frankfurt International Airport, wetterkontor.de.

2003: Hitze- und Trockenjahr
Temperatur 22,2 °C (+2,5 °C) im Sommer,
379 mm Niederschlag (−39,8 %) im Jahr,
90 mm Niederschlag (−33,3 %) im Frühling,
70 mm Niederschlag (−61,1 %) im Sommer;

2011: Große Trockenheit im Frühling
55 mm Niederschlag (−59,3 %) im Frühling;

2015: Trockenjahr
431 mm Niederschlag (−31,6 %) im Jahr,
53 mm Niederschlag (−60,7 %) im Frühling;

2018: Hitze- und Trockenjahr
Temperatur 12,5 °C (+2,0 °C) im Jahr,
Temperatur 21,9 °C (+2,2 °C) im Sommer,
401 mm Niederschlag (−36,3 %) im Jahr,
57 mm Niederschlag (−68,3 %) im Sommer;

2022: Hitze- und Trockenjahr
Temperatur 12,5 °C (+2,0 °C) im Jahr,
Temperatur 22,1 °C (+2,4 °C) im Sommer,
85 mm Niederschlag (−37,0 %) im Frühling,
73 mm Niederschlag (−59,4 %) im Sommer.

3. Bisherige vegetationskundliche Untersuchungen im Naturschutzgebiet „Griesheimer Düne und Eichwäldchen“ und Umgebung

Pflanzengesellschaften der basenreichen Sande im benachbarten Bergsträßer Sandgebiet wurden erstmals von Spilger (1927) erwähnt und mit Frequenzanalysen (zum Teil ergänzt durch Deckungsangaben) dokumentiert, die weitgehend alle typischen Arten enthalten. Auch geht der Autor bereits auf die Struktur der Offenland-Pflanzengesellschaft ein und unterscheidet Vegetationsschichten. Im unbewaldeten Sand tritt *Stipa capillata* „akzessorisch“ als Begleitart auf, „bei natürlicher Entwicklung der Gesellschaft aber sicher konstant“ (Spilger 1927). Letzteres Sukzessionsstadium ist bei vielen steppenartigen Sandrasen im Darmstädter beziehungsweise Darmstadt-Dieburger Sandgebiet aktuell erreicht.

Pflanzensoziologische Aufnahmen von der Griesheimer Düne liegen aus den frühen 1950er Jahren vor (Ackermann 1954). Zwei Aufnahmen vom westlichen und östlichen Dünenteil dokumentieren hier mit je einer sehr groß gewählten Aufnahmefläche (à 500 m^2) ein Mosaik von Koelerion glaucae und Allio-Stipetum capillatae. Neben den Arten des Allio-Stipetum capillatae ist die Artengarnitur des Koelerion glaucae enthalten (*Koeleria glauca*, *Bassia laniflora*, *Alyssum gmelinii*, *Jurinea cyanoides*, *Poa badensis*).

Korneck (1974, Tab. 37) dokumentierte in den 1960er/frühen 1970er Jahren das Jurineo-Koelerietum glaucae von der Griesheimer Düne (Aufnahmegröße im Mittel 19 m^2,

6 Aufnahmen, mittlere Artenzahl 26). *Jurinea* war hier noch in einer Aufnahme mit „r“ vorhanden sowie in mehreren Aufnahmen die weiteren oben genannten Arten. Hinzu tritt die heute auch noch in einer kleinen Population im Allio-Stipetum capillatae vorkommende *Fumana procumbens*. Es waren Bestände mit Deckungen der Phanerogamen von 50 % bis höchstens 70 % und Deckungen des Sand-Pioniermooses *Syntrichia ruralis* var. *ruraliformis* zwischen 25 % und 50 %. *Jurinea* war seit den späten 1970er Jahren verschollen; es wurde aber seit 2002 immer wieder versucht, die Art zu re-etablieren (zuletzt 2022; diese Pflanzen blühten 2023 und zeigten gute Vitalität).

Cezanne (1983) widmete den Flugsandflächen bei Darmstadt seine Diplomarbeit, der Geländeaufnahmen aus dem Jahre 1982 zugrunde lagen. Der Autor erwähnt bereits den starken Wuchs von *Calamagrostis epigejos* sowie für den Westteil der Griesheimer Düne die Ruderalisierungsstadien mit *Poa angustifolia*. Zu *Koeleria glauca* wird angegeben, dass die Art kleinere Vorkommen im Westteil der Griesheimer Düne hatte, aber weitgehend auf den Ostteil beschränkt war. *Alyssum gmelinii* und *Poa badensis* kamen im Gebiet häufiger vor; *Jurinea* war 1982 bereits erloschen.

24 Aufnahmen des Jurineo-Koelerietum glaucae von der Griesheimer Düne von Cezanne (1983) (mittlere Flächengröße 25 m^2, mittlere Artenzahl 26) zeigen die folgenden Merkmale: *Koeleria glauca* erreichte 92 % Stetigkeit, kam aber fast ausschließlich mit Mengen unter 5 % Deckung vor, *Alyssum gmelinii* erreichte eine Stetigkeit von 21 %, *Bassia laniflora* 4 % und *Poa badensis* 38 %. Insgesamt deckte die Gesellschaft nach der Vegetationskarte von 1982 (Cezanne 1983) noch die Hälfte des Dünen-Bereiches der östlichen Griesheimer Düne.

Bei 25 Aufnahmen im Allio-Stipetum koelerietosum glaucae aus dem Gebiet (Cezanne 1983) erreichte *Koeleria glauca* nur eine Stetigkeit von 28 % mit sehr geringer Menge, *Poa badensis* 16 % und *Calamagrostis epigejos* bereits 72 % (letztere fünfmal Deckung 25–50 %). Die Differentialarten des „koelerietosum glaucae“ fehlten in über der Hälfte der Vegetationsaufnahmen. Damit war die von Korneck (1974) unterschiedene Subassoziation kaum noch präsent. Die mittlere Artenzahl der Aufnahmen lag bei 25,8, bei einer mittleren Flächengröße von 22 m^2.

Im Jahre 2000 legten Cezanne & Hodvina eine Studie zum Biomonitoring im Gebiet der Griesheimer Düne vor. Diese enthält auch Ergebnisse von 10 Daueruntersuchungsflächen 1997 bis 2000. Eine Dauerfläche des Jurineo-Koelerietum glaucae ist für die vorliegende Studie wieder aufgenommen worden (vom damaligen Mitbearbeiter R. Cezanne sowie M. Eichler).

Es wurden 1998 von Cezanne & Hodvina (2000) noch gut 1000 Individuen von *Koeleria glauca* (fast ausschließlich im Ostteil der Düne) festgestellt; ferner stellten die Autoren bei einer Vergleichskartierung einen Rückgang der Fläche des Jurineo-Koelerietum von 2,2 ha 1983 auf 0,8 ha 2003 fest (Cezanne & Hodvina 2003).

Im Abschlussband zum Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Sandökosysteme im Binnenland: Dynamik und Restitution“ haben wir die Entwicklung der in dieser Arbeit behandelten Dauerflächen in den ersten 3 Jahren in einer Stetigkeitstabelle dargestellt und weiterhin erste Ergebnisse von der Auswertung von systematisch in einem Raster angelegten Plots auf der Griesheimer Düne à 79 m^2 behandelt. Es zeigten sich bei letzterem Ansatz zum Beispiel starke Rückgänge der Streuschicht der beweideten Flächen (Schwabe & al. 2004), und letzteres war noch deutlicher nach

11 Jahren (Süss & al. 2011). In einer Auswertung unserer Dauerflächen mit spontaner Sukzession im Darmstädter/Darmstadt-Dieburger Sandgebiet haben wir auch die unbeweidete Fläche S1 von der Griesheimer Düne (siehe Kapitel 6.2.) einbezogen und bei der Erstellung eines Sukzessionsmodells zum Abbau des Allio-Stipetum capillatae verwendet, da hier das klonale Wachstum von *Prunus spinosa* besonders gut (damals für 10 Vegetationsperioden) dokumentiert werden konnte (Süß & al. 2010). Auch die unbeweideten Flächen S2, S3, S4 (siehe Kapitel 6.2.) sind in dieses Modell eingegangen (Daten 2000–2009). Es wurde hier anhand der Auswertung von 32 Dauerflächen ein „ruderaler Pfad" der Sukzession bei mangelnder Pflege erkannt, der nach unserer Hypothese durch Beweidung in den „nicht-ruderalen Pfad" umgelenkt werden könnte (Süß & al. 2010).

Im Jahre 2013 veröffentlichten wir Ergebnisse aus dem Gebiet „Griesheimer Düne und Eichwäldchen", die 12 Vegetationsperioden umfassten (2000 bis 2011, darunter nur 2 Trocken-/Hitze-Extremjahre, siehe oben) und sich ebenfalls auf die systematisch in einem Raster verteilten Plots von je 79 m^2 Größe bezogen (Schwabe & al. 2013). Diese Flächen lagen im Allio-Stipetum-Vegetationskomplex (Ag: 14 beweidete Plots, Au: 10 unbeweidete Plots), der die Griesheimer Düne am meisten prägt. Weitere Untersuchungen auf ehemaligen Äckern im Gebiet sollen hier nicht dargestellt werden (siehe dazu Schwabe & al. 2013). In den Ag-Flächen fanden wir unter anderem signifikante Zunahmen der Zielarten und allgemein aller Arten (mittlere Artenzahl der Plots) sowie Abnahmen der Deckung von *Calamagrostis epigejos* auf den beweideten Flächen. Vergrößerungen der Populationen von Arten des Koelerion glaucae konnten wir weder in Ag noch Au nachweisen (Schwabe & al. 2013).

4. Genauere Angaben zu den untersuchten Dauerflächen

Im Frühling 2000 erhielten wir durch das Regierungspräsidium Darmstadt die Genehmigung, 5 gezäunte Flächen à 14 m × 14 m mit daneben liegenden ungezäunten Vergleichsflächen kurz vor der neu etablierten Beweidung anzulegen, die einen Gradienten der Ruderalisierung und Sukzession widerspiegeln (Abb. 2a, 2b). So konnte in einem direkten Vergleich auf identischem Standort jeweils ein unbeweideter und ein beweideter Plot, der jeweils mit Magneten markiert wurde, verglichen werden. Die Flächenlage wurde, stratifiziert nach Vegetations- und Sukzessionstypen, randomisiert ausgewählt. Die Dauerflächen in den ausgezäunten Bereichen und die daneben liegenden seit 2000 beweideten Vergleichsflächen weisen jeweils Plots für pflanzensoziologische Aufnahmen von 25 m^2 Größe auf. Neben diesen Plots wurden auch Flächen für bodenchemische und -physikalische Untersuchungen ausgewiesen (Schema bei Zehm & Zimmermann 2004). Drei der Flächen, die einen Sukzessions- und Ruderalisierungsgradienten widerspiegeln (S2, S3, S4) konnten bisher über 23 Vegetationsperioden jährlich analysiert werden. Auf einer Fläche, auf der sich ein *Prunus-spinosa*-Polykormon entwickelte (S1), bauten wir aus Naturschutzgründen (Schutz des Allio-Stipetum capillatae) nach 15 Vegetationsperioden die Umzäunung ab. Bei einer gehölzreichen Fläche (G1) wurde nach 14 Vegetationsperioden die weitgehende Zurückdrängung des Allio-Stipetum capillatae festgestellt und damit die Zeitreihe beendet.

Die Bodenverhältnisse in den obersten 30 cm (differenziert nach Ober- und Unterboden) dieser Flächen wurden von Bergmann (2004) näher untersucht. Die Skelettgehalte

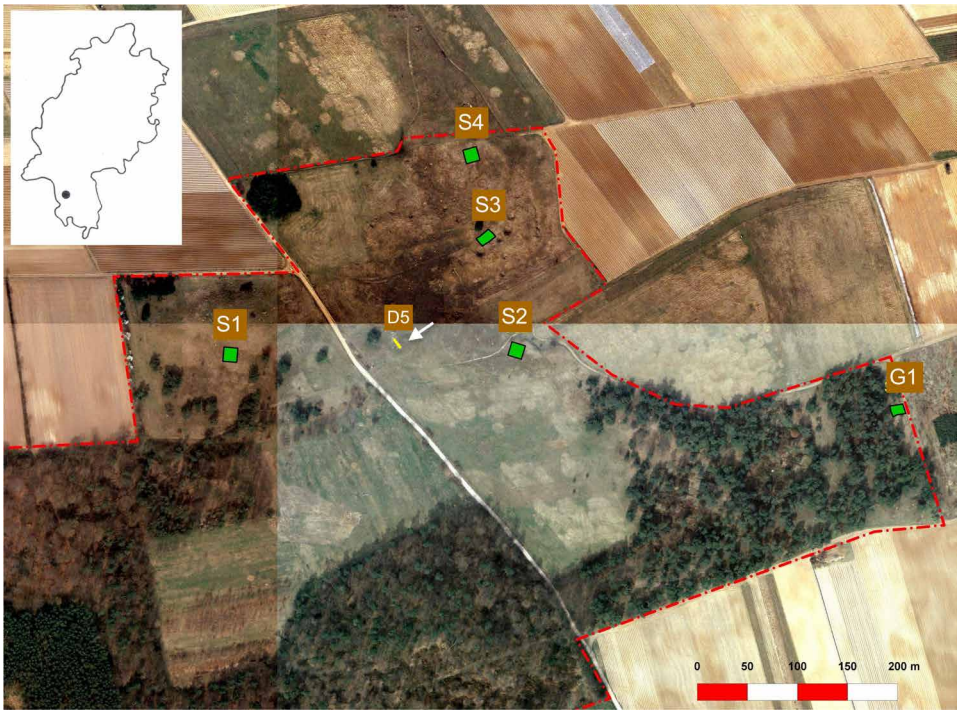


Abb. 2a: Luftbild der Offenlandbereiche des Naturschutzgebietes „Griesheimer Düne und Eichwäldchen“ zu Beginn der Untersuchungen mit den 5 neu errichteten Untersuchungsflächen: S1 bis S4 und G1 (grüne Vierecke stellen die gezäunten Exclosures dar) sowie einer Dauerfläche (D5) des Koelerion glaucae aus dem Jahre 1998 (gelb, mit hinweisendem weißen Pfeil). Rote Strich-Punkt-Umrandung: Grenze Naturschutzgebiet. Nach Norden ausgerichtet. Quelle Luftbild: Stadtvermessungsamt Darmstadt 2000. Nach Zehm & Zimmermann (2004), verändert. Inset-Bild: Lage des Untersuchungsgebietes in Hessen. – Aerial picture of the open parts of the nature reserve ‘Griesheimer Düne und Eichwäldchen’ in the beginning of the investigations. The five newly erected examination areas with permanent plots S1–S4 and G1 are shown (green quadrangles: fenced exclosures) as well as one permanent plot with vegetation of Koelerion glaucae (D5, erected 1998; yellow with indicating white arrow). Red dashed-dotted line: boundary of the nature reserve. Photo aligned to the north. Source: Stadtvermessungsamt Darmstadt 2000, adapted from Zehm & Zimmermann (2004), modified. Inset: Position of the study area in Hesse (black dot).

liegen (meist weit) unter 1 %. In der mineralischen Feinerde überwiegt die Sand-Fraktion bei Weitem (im Mittel aller 5 Flächen: 93 %), wobei der Feinsand den größten Anteil beiträgt. Entsprechend gering ist die nutzbare Feldkapazität mit im Mittel 20 Volumen-%. Zwischen den 5 Flächenpaaren bestehen keine größeren Unterschiede hinsichtlich der bodenphysikalischen Parameter. Einige der von Bergmann (2004) analysierten bodenchemischen Parameter sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die Bodenproben wurden im Mai 2000 vor Beginn der Beweidung genommen.

Deutlich werden die teils hohen Kalkgehalte, besonders im Unterboden, und damit einhergehend pH-Werte über 7,0. Der Boden von G1 ist weitgehend entkalkt und im Oberboden bereits leicht versauert. Die anderen Parameter zeigen durchgängig nährstoffarme Bedingungen an, wie sie auch im weiteren Untersuchungsgebiet in Sandrasen noch anzutreffen sind (Storm & al. 1998). Auffällig ist Fläche S2, die im Oberboden durch

Abb. 2b: Luftbild mit Blickrichtung nach Westen der östlichen Griesheimer Düne mit vorherrschendem Allio-Stipetum capillatae und den Dauerflächen S3U/B und S4U/B (weiße Pfeile) im Jahr 2005 (15. 10.), 6 Vegetationsperioden nach der Zäunung der Exclosures. Einige mehrere m² offene Sandstellen markieren Reste der Vegetation des Koelerion glaucae. Helle Kleinstflecken stellen vorwiegend Kaninchenbauten dar. Deutlich wird der enge Kontakt zu den östlich anschließenden, gedüngten Äckern – ohne Pufferzone. Quelle Luftbild: M. Stroh in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet „Strömungslehre und Aerodynamik" der TU Darmstadt.– Aerial view (aligned to the west) of the eastern part of the 'Griesheimer Düne' with dominant Allio-Stipetum capillatae and the studied plots S3U/B and S4U/B (white arrows) in the year 2005 (15th October, six vegetation periods after fencing). Some open sandy structures of some m² highlight remnants of Koelerion glaucae-vegetation. Light small patches show mainly rabbit burrows. The direct contact to the fertilized fields without any buffering zone is clearly visible. Source aerial picture: M. Stroh in collaboration with the 'Institute for Fluid Mechanics and Aerodynamics', Technical University of Darmstadt.

besonders niedrige Gehalte aller Kenngrößen gekennzeichnet ist, außer bei Phosphat. Auch dieser Wert liegt aber noch im geringen Bereich.

Die 5 Flächen repräsentieren folgende Stadien und damit verbundene Fragestellungen; die Abkürzung U bezeichnet jeweils den unbeweideten Plot, B den beweideten Plot. Die Flächen weisen keine oder in 2 Fällen nur geringe Hangneigung auf:

– S2U, B: herausragende Fläche aus Sicht des Naturschutzes mit Elementen des Koelerion glaucae: Lassen sich Entwicklungen zum weiter entwickelten Allio-Stipetum capillatae vor allem in der gezäunten Fläche erkennen oder sogar Ruderalisierungen? Kann sich die beweidete Fläche stärker mit Elementen des Koelerion glaucae anreichern?

– S3U, B und S4U, B: Entwicklung von zwei bereits ruderalisierten Flächen des Allio-Stipetum capillatae (S3: 2 ° Hangneigung NNW, S4: 1–3 ° Hangneigung W): Lässt sich auf den unbeweideten Flächen eine Verstärkung, auf der beweideten Fläche eine Schwächung der Ruderalisierung feststellen?

– S1U, B: Entwicklung einer gut ausgebildeten Allio-Stipetum capillatae-Fläche mit Gebüschkern von *Prunus spinosa*: In welchem Umfang schreitet das Gebüschwachstum voran im beweideten und vergleichend im unbeweideten Bereich?

– G1U, B: Entwicklung einer locker mit Gebüschen bestandenen Fläche mit bereits ausgedünntem Allio-Stipetum capillatae-Unterwuchs: In welchem Umfang schreitet das Gebüschwachstum voran im beweideten und vergleichend im unbeweideten Bereich?

Neben diesen je 5 unbeweideten und 5 beweideten Plots betrachten wir noch die Entwicklung der Dauerfläche D5 des Koelerion glaucae von 10 m^2 Größe im Untersuchungsgebiet. Die Dauerfläche liegt im östlichen Teil der Düne in dem heute noch bestehenden Restvorkommen dieses Vegetationstyps. Der Standort ist mit einer Hangneigung von 18 ° und WSW-Exposition stark der Hitze ausgesetzt. Der Untersuchungszeitraum umfasst die Jahre 1998, 1999, 2000, 2003 und 2023.

Tab. 1: Übersicht bodenchemischer Eigenschaften der 5 untersuchten Flächen im Mai 2000, differenziert nach Ober- (0–10 cm) und Unterboden (10–30 cm); nach Bergmann (2004). Die Werte der beweideten und unbeweideten Plots der jeweiligen Fläche wurden gemittelt. C_{org} = organischer Kohlenstoff, Gesamt-N = gesamter Stickstoff, N_{min} = extrahierbarer Mineralstickstoff (Summe aus Nitrat-N und Ammonium-N), K, P = extrahierbares Kalium beziehungsweise Phosphor, NMR = Netto-Stickstoff-Mineralisationsrate im anaeroben Inkubationsversuch im Labor. Weitere Details zu den Methoden siehe Bergmann (2004). – Overview of soil chemical properties of the five investigated plots in May 2000, divided into topsoil (0–10 cm) and subsoil (10–30 cm); after Bergmann (2004). Values of grazed and ungrazed plots of each site were averaged. C_{org} = organic carbon, total N = total nitrogen, N_{min} = extractable mineral nitrogen (sum of nitrate-N and ammonium-N), K, P = extractable potassium and phosphorus, respectively, NMR = net nitrogen mineralization rate in laboratory anaerobic incubation experiment. Further details on the methods, see Bergmann (2004).

Fläche	Boden-tiefe	pH ($CaCl_2$)	Kalk-gehalt	C_{org}	Gesamt-N	N_{min}	Phosphat-P	K	NMR
	cm		%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/(kg*7 Tage)
S2	0–10	7,6	8,5	0,8	0,07	3,0	14,6	26	28
S3	0–10	7,5	8,1	1,6	0,14	4,2	8,7	37	44
S4	0–10	7,5	11,8	1,1	0,10	5,2	12,2	46	34
S1	0–10	7,3	4,9	1,3	0,11	4,5	7,2	38	41
G1	1–10	6,7	0,4	1,6	0,13	3,9	3,5	39	54
S2	10–30	7,7	10,1	0,3	0,03	0,5	12,0	13	10
S3	10–30	7,6	10,2	0,5	0,04	0,8	6,3	18	11
S4	10–30	7,7	14,9	0,3	0,02	0,6	9,2	27	9
S1	10–30	7,7	8,8	0,4	0,03	0,5	6,2	14	11
G1	10–30	7,4	0,8	0,5	0,04	0,6	1,1	15	13

5. Methoden der Geländeaufnahme und Auswertung der Daten

Die pflanzensoziologischen Aufnahmen wurden jährlich seit 2000 im Juni durchgeführt. Zum einen wurde die differenzierte Braun-Blanquet-Skala von Barkman & al. (1964)

verwendet, zum anderen eine reine Prozentskala für die Deckungen mit den Abstufungen: 0, 0,1, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, …. 95, 100 %. Die Aufnahmen sind im Rahmen verschiedener Projekte (siehe Danksagung) unter Leitung der Arbeitsgruppe Vegetations- und Restitutionsökologie der Technischen Universität Darmstadt gemacht worden (2000 bis 2004: Andreas Zehm, Folgejahre: Rainer Cezanne und Marion Eichler). Die Aufnahmen der Dauerfläche des Koelerion glaucae stammen von Cezanne & Hodvina (1998, 2000, 2003) und für 2023 (aufgenommen im Rahmen unseres Projektes) von Rainer Cezanne und Marion Eichler. Die pflanzensoziologischen Originalaufnahmen werden in der Datenbank sMon am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) in Halle-Jena-Leipzig hinterlegt.

Die Zuordnung der Arten zu pflanzensoziologischen Klassen erfolgte in unserer seit dem Jahre 2000 aufgebauten Datenbank vor allem nach Oberdorfer & al. (2001) und wurde zusätzlich regional angepasst nach unseren langjährigen Felderfahrungen.

Zur naturschutzfachlichen Bewertung der Entwicklung haben wir nicht nur die Arten der Roten Listen analysiert (Referenzen, siehe unten), sondern auch die Zielarten-Indizes berechnet (Target Species Ratio, TSR, vergleiche Eichberg & al. 2010). Dabei wurden Arten der Klassen Koelerio-Corynephoretea und Festuco-Brometea und Übergangsarten zwischen beiden Klassen als Zielarten betrachtet. Der Zielarten-Index wird berechnet als Quotient der Zahl der Zielarten im Verhältnis zur gesamten Artenzahl (qualitativ: TSRqual) beziehungsweise als Quotient der Deckungssummen der Zielarten im Verhältnis zu den Deckungssummen aller Arten (quantitativ: TSRquant).

Mit den 14–23 Untersuchungsjahren liegen mittlerweile sehr lange Zeitreihen vor, in denen die Deckungen von insgesamt 178 Arten geschätzt wurden.
Um herauszufiltern, bei welchen Arten mögliche Veränderungen deutliche Trends aufweisen, wurden lineare Regressionen der Deckungswerte für alle Arten der 5 × 2 Flächen (jeweils für die beweideten und unbeweideten Plots) berechnet und in einer Tabelle dargestellt. Die Pearsonschen Korrelationskoeffizienten sind in dieser Tabelle grün unterlegt, wenn ein signifikanter positiver Trend vorliegt ($p < 0{,}05$) beziehungsweise gelb, wenn es sich um eine signifikante Abnahme handelt. Die Berechnungen wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2013 durchgeführt.

Die Vegetationsdaten analysierten wir zudem mit der Ordinations-Methode der „Detrended Correspondence Analysis" (DCA). Hierbei sind alle vorkommenden Phanerogamen und Kryptogamen einbezogen worden. Die Deckungen wurden wurzeltransformiert, um den Einfluss stark dominanter Arten zu dämpfen. Die Durchführung der DCA erfolgte mit dem Programm PC-ORD (Version 7.09, McCune & Mefford 2018) mit Herabgewichtung seltener Arten und Reskalierung der Achsen mit 26 Segmenten. Die Achsen wurden mit einem Standardabweichungsmaß (SD) skaliert. Die Bedeutung der Achsen wurde post-hoc über die Varianzerklärung anhand der Sørensen-Ähnlichkeit ermittelt. Diese Werte ergänzen das Kriterium der Eigenwerte.

Das jeweils erste und letzte untersuchte Jahr wurden durch Trajektorien verbunden. In einer weiteren Abbildung stellen wir alle Variablen der Vegetationsstruktur (Artenzahlen, Deckungen, auch der einzelnen funktionellen und soziologischen Artengruppen sowie Rote-Liste-Arten) sowie die beiden Zielarten-Indizes als Vektoren dar. Um das Diagramm übersichtlich zu gestalten, wurden nur Vektoren verwendet, die mit einem Bestimmtheitsmaß von wenigstens $R^2 = 0{,}3$ mit den beiden Achsen korrelieren.

Die Nomenklatur der Phanerogamen richtet sich nach Jäger (2017) mit Ausnahme von *Alyssum gmelinii* (die Thiv & al. 2022 folgt), die der Moose nach Caspari & al. (2018) und die der Flechten nach Printzen & al. (2022). Die Angabe der Gefährdungen von Sippen folgt den Hessischen Roten Listen (Phanerogamen: Starke-Ottich & al. 2019, Moose: Drehwald 2013, Flechten: Cezanne & al. 2023).

6. Ergebnisse

6.1. Synoptische Betrachtung der Flächen in einer DCA (Abb. 3a, 3b, Tab. 2)

Um einen komprimierten Gesamtüberblick zur Vegetationsentwicklung der Flächen zu geben, wurde eine Ordination (Detrended Correspondence Analysis, DCA) durchgeführt. Nach Tab. 2 repräsentieren die ersten beiden Achsen 87 % der Gesamtvarianz der Daten und haben damit einen sehr hohen Erklärungswert; die dritte Achse ist nahezu bedeutungslos.

Wie Abb. 3a zeigt, sind die 5 Flächen, die farblich differenziert dargestellt wurden, sehr klar voneinander getrennt – und bleiben dies über den gesamten Untersuchungszeitraum. Am deutlichsten abgerückt ist Fläche G1 mit hohen Werten auf der 1. Achse und einem deutlichen Abstand zu den S-Flächen. Bei einer Gradientenlänge von 3,7

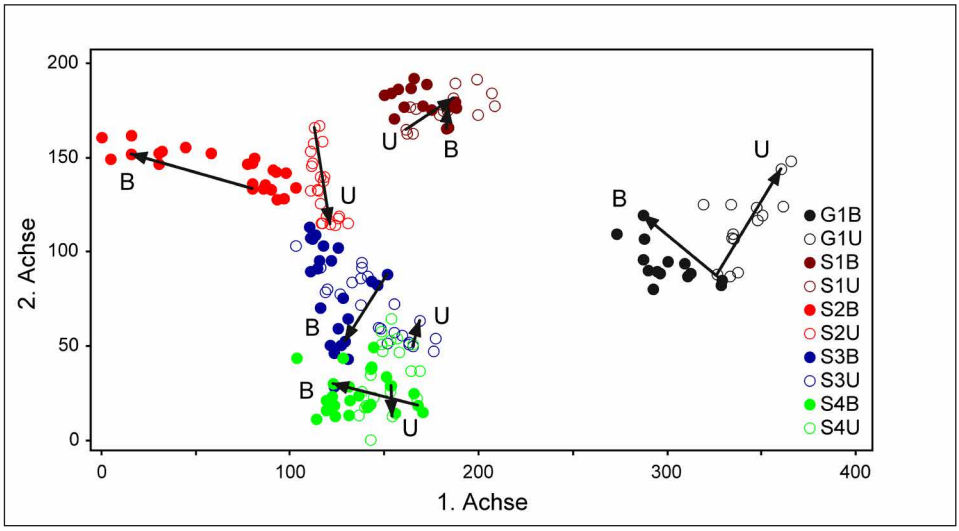


Abb. 3a: Ordination (Detrended Correspondence Analysis, DCA) der wurzeltransformierten Vegetationsdaten. Mit Kreisen dargestellt sind die Flächen in den einzelnen Untersuchungsjahren (leere Kreise: unbeweidete Plots, ausgefüllte Kreise: beweidete Plots). Das jeweils erste und letzte Jahr jedes Plots wurde durch Trajektorien verbunden. Die Achsen sind in SD-Einheiten * 100 skaliert. – Ordination (Detrended Correspondence Analysis, DCA) of the root-transformed vegetation data. The plots in each year are shown as circles (empty circles: ungrazed plots, filled circles: grazed plots). The first and last year of each plot were connected by trajectories. The axes are scaled in SD units * 100.

SD-Einheiten zeichnet sich hier ein starker floristischer Gradient ab mit einem nahezu kompletten Artenwechsel von G1U nach S2B. S1 nimmt auf der ersten Achse eine intermediäre Stellung zwischen G1 und den restlichen Flächen ein. Letztere sind vor allem entlang der 2. Achse differenziert, wobei S3 und S4 sehr nah beieinander liegen und sich teilweise überlappen.

Die Behandlung der Flächen (beweidet B, unbeweidet U) ist ablesbar an den Kreissymbolen (ausgefüllte, nicht ausgefüllte Kreise). Bei Fläche G1 entwickeln sich B und U deutlich auseinander, ein Effekt, der bei S1 nicht feststellbar ist. Die übrigen Flächen sind ohne Beweidung relativ stabil (S3, S4) oder zeigen deutlich nach unten weisende Trajektorien (S2), während sie bei Beweidung immer nach links zeigen und bei S2 und S4 nach oben. Die Länge der Trajektorien ist in allen Fällen deutlich kleiner als 1 SD-Einheit, teilweise sogar ganz minimal. Dies zeigt eine vergleichsweise hohe Stabilität der Flächen an.

Zur Interpretation der Lage und Entwicklung der Flächen ist es hilfreich, die Beziehungen der strukturellen Variablen der Artengemeinschaften zu den Achsen zu betrachten (Abb. 3b). Hier zeigt sich, dass die 1. Achse einen Sukzessionsgradienten darstellt: Links liegen Flächen mit hohen Artenzahlen der Pionierarten (zumeist Annuelle), hier sind auch die Zahl der Festuco-Brometea-Arten und der qualitative Zielartenindex TSR am höchsten. Rechts im Diagramm finden sich dagegen Flächen mit hoher Deckung und höherer

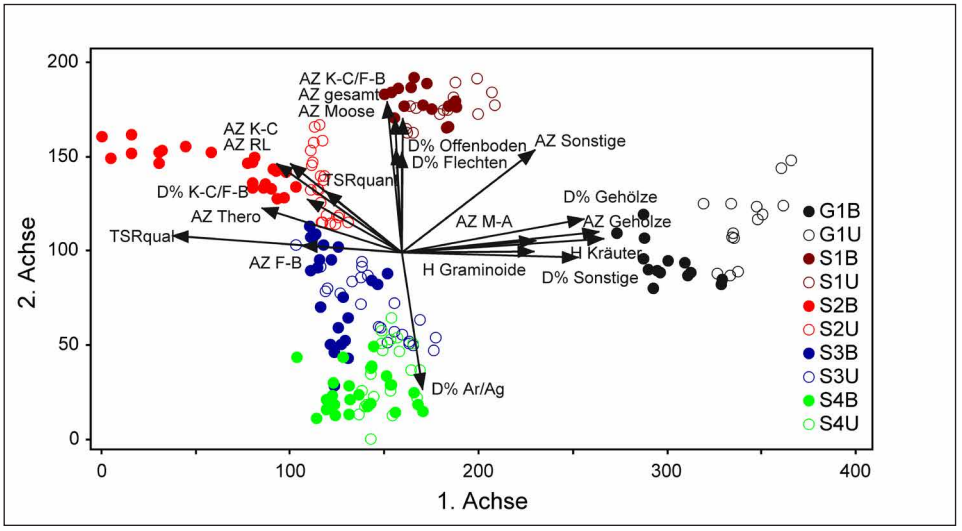


Abb. 3b: Ordination (Detrended Correspondence Analysis, DCA) der wurzeltransformierten Vegetationsdaten, wie in Abb. 3a, aber statt der Trajektorien sind die strukturellen Variablen als Vektoren eingetragen, sofern sie mit $R^2 > 0{,}3$ mit den Achsen korrelieren. AZ = Artenzahl, D % = Deckung in %, H = Wuchshöhe, Thero = Annuelle (Therophyten), K-C = Arten der Koelerio-Corynephoretea, F-B = Arten der Festuco-Brometea, M-A = Arten der Molinio-Arrhenatheretea, Ar/Ag = Arten der Artemisietea und Agropyretea, RL = Arten der Roten Listen für Hessen, TSR = Zielartenindex. – Ordination (Detrended Correspondence Analysis, DCA) of the root-transformed vegetation data as in Fig. 3a; instead of trajectories, structural variables are plotted as vectors, provided they correlate with the axes with $R^2 > 0.3$. AZ = species number, D % = cover in %, H = growth height, Thero = Annuals, K-C = species Koelerio-Corynephoretea, F-B = species Festuco-Brometea, M-A = species Molinio-Arrhenatheretea, Ar/Ag = species Artemisietea and Agropyretea, RL = red-listed species (Red list Hesse), TSR = Target Species Index.

Artenzahl der Gehölze, hoher Wuchshöhe der Graminoiden und Kräuter und höheren Artenzahlen an Molinio-Arrhenatheretea-Arten sowie Deckungen sonstiger Arten.

Demgegenüber erweist sich die 2. Achse als Ruderalisierungsgradient mit zunehmender Deckung der Arten der Artemisietea und Agropyretea nach unten bei abnehmender Gesamt- und Moosartenzahl sowie Deckung an Offenboden und Flechten. In der Tatsache, dass S4 noch weiter unten liegt als S3, kommt der höhere Ruderalisierungsgrad von S4 zum Ausdruck.

Eine Reihe von Variablen zeigt nach links oben und korreliert somit sowohl mit der 1. als auch mit der 2. Achse. Dies sind die Artenzahl der Koelerio-Corynephoretea- und die der Rote-Liste-Arten, die Deckung der Übergangsarten zu den Festuco-Brometea sowie der quantitative Zielartenindex. In diesem Bereich liegt die Fläche S2, vor allem der beweidete Plot, die somit die typischste Sandrasen-Fläche repräsentiert mit hier minimalen Einflüssen von Sukzession (1. Achse) oder Ruderalisierung (2. Achse); siehe aber die detaillierte Beschreibung im Kapitel 6.2.

Tab. 2: Kennwerte der ersten 3 Achsen der DCA. Die erklärte Varianz gibt an, welcher Anteil der Varianz der Originaldaten durch die jeweilige Achse erklärt wird. Die Gradientenlänge ist ein Maß für den Artenwechsel entlang der jeweiligen Achse, angegeben in Standardabweichungen (SD). – Characteristic values of the first three axes of the DCA. The explained variance indicates what proportion of the variance of the original data is explained by the respective axis. The gradient length is a measure of species change along the respective axis and is given in standard deviations (SD).

Achse	Eigenwert	Erklärte Varianz (%)	Gradientenlänge (SD)
1	0,45	72	3,7
2	0,18	15	1,9
3	0,09	0	1,4

6.2. Synoptische Tabelle mit der floristischen Struktur der Plots und einer Trendanalyse (Tab. 3)

Dauerflächen ohne Gehölzsukzession S2, S3, S4

Diese Flächen des Allio-Stipetum capillatae wurden von 2000 bis 2022, also über 23 Vegetationsperioden untersucht. Die 25-m²-Plots S2 und S3 haben für die gesamte Zeitperiode ein Gesamtarteninventar von 85–90 Arten; die am stärksten ruderalisierte Fläche S4 fällt hier bereits ab mit nur 73–74 Arten. Wir besprechen signifikante Veränderungen, die in Tab. 3 (im Anhang) dargestellt werden und verwenden auch Daten aus den nicht gedruckten Originalaufnahmen.

Spalte I; Plot S2U unbeweidet, S2B beweidet (Abb. 4a, 4b, 4c)
Die Spitzenfläche mit Elementen des Koelerion glaucae zeigt in S2U signifikante Rückgänge von 13 Koelerio-Corynephoretea- und Übergangsarten zu den Festuco-Brometea, gegenüber 5 solcher Arten in S2B. Umgekehrt haben insgesamt 4 Arten der Koelerio-Corynephoretea sowie Übergangsarten zu den Festuco-Brometea in S2B signifikant zugenommen, keine in S2U.

Zunahmen aus der Gruppe der Koelerio-Corynephoretea-Arten lassen sich somit nur bei S2B verzeichnen (davon stellte sich *Phleum arenarium* neu im Jahre 2018 ein und wurde auch 2021 und 2022 nachgewiesen, siehe Diskussion). *Koeleria glauca* kam schon 2000 nur in S2U vor und konnte den beweideten Plot im Laufe der Jahre nicht besiedeln. *Syntrichia ruralis* var. *ruraliformis* (Übergangsart Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea) profitierte von der Beweidung: Hier nahm die Sippe signifikant von 30 % auf 80–90 % Deckung zu, ohne Beweidung aber von 5 % auf 0,1 % ab.

Festuco-Brometea-Arten, die ein fortgeschritteneres Sukzessionsstadium anzeigen, nahmen umgekehrt in S2U in weitaus geringerem Maße ab (3 Arten) als in S2B (7 Arten). Unter den Agropyretea- und Artemisietea-Arten nahmen 3 Arten ab und 2 zu in S2U, während im beweideten Plot 6 rückläufige Arten auftraten und es keine Zunahmen gab. Insgesamt wird diese Artengruppe durch die Beweidung vermindert.

Calamagrostis epigejos ist auf der S2B-Fläche seit 2020 erloschen, auf der S2U-Fläche weiterhin präsent mit geringer Deckung von 0,1 %. Die ruderale Art *Carex hirta* ist auf der beweideten Fläche ebenfalls erloschen, in der unbeweideten zeigt sie eine signifikante Zunahme. Bei den Stellarietea-Arten ist die Etablierung der epizoochor ausgebreiteten Art *Anchusa arvensis* seit 2014 in S2B bemerkenswert. Bei den sonstigen Arten gibt es Rückgänge von Flechten in S2U und S2B sowie eine Zunahme der pleurokarpen Moosart *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* in S2U und eine Abnahme dieser Art in S2B; diese Art verhält sich also genau gegensätzlich zu *Syntrichia ruralis* var. *ruraliformis*.

Die Gesamtartenzahl über alle Jahre liegt bei S2U bei 85, S2B weist 5 Arten mehr auf (90). Eine hohe Anzahl von Arten weist einen signifikanten Rückgang auf (S2U: 25, S2B: 27); demgegenüber stehen Zunahmen von 3 Arten bei S2U und 6 bei S2B.

Abb. 4a: Dauerfläche S2U im Frühling mit Eselbeweidung im Hintergrund. Decken von vor allem dem pleurokarpen Moos *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* sind sichtbar (das signifikant zugenommen hat) zwischen den vorjährigen Halmen von *Stipa capillata*. 11. 3. 2023, im 24. Jahr nach der Auszäunung, A. Schwabe. – Permanent Plot S2U in spring (24th year after fencing) with donkey grazing in the background. Large layers of mainly the pleurocarpous moss *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* can be seen (which significantly increased) between the last year's stalks of *Stipa capillata.*

Abb. 4b: Sommeraspekt von S2U mit *Echium vulgare*, das signifikant abgenommen hat. *Stipa capillata* bestimmt den Aspekt. 1. 7. 2009, im 10. Jahr nach der Auszäunung, A. Schwabe. – Summer aspect of S2U (tenth year after fencing) with *Echium vulgare*, which significantly decreased. *Stipa capillata* characterizes the aspect.

Abb. 4c: Detailaspekt des beweideten Plots S2B mit *Phleum arenarium*, das sich spontan seit 2018 ansiedelte. 23. 8. 2023, A. Schwabe. – Close-up of the grazed plot S2B with *Phleum arenarium*, which established itself spontaneously in 2018.

Spalten II, III; Plots S3U, S4U unbeweidet, S3B, S4B beweidet (Abb. 5a, 5b und 6a, 6b)
Diese bereits im Jahr 2000 schwach (S3) und stärker (S4) ruderalisierten Plots zeigen durchweg Rückgänge bei Koelerio-Corynephoretea-Arten (um 1–6 Arten), sowohl in S3U, S4U als auch in S3B, S4B, aber weniger als in Fläche S2. Zunahmen gibt es keine bei Arten dieser Klasse. Auf Fläche S3 sind außerdem jeweils zwei Übergangsarten Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea rückläufig, während es in S4U eine Art mit Zunahme gab (*Cladonia rangiformis*). Auch bei den Festuco-Brometea-Arten gibt es überwiegend Rückgänge (um 3–7 Arten) in S3U, S4U und S3B, S4B mit der Ausnahme

von *Medicago falcata*/*M.* × *varia* mit signifikanten Zunahmen vor allem in den B-Flächen sowie *Koeleria macrantha* in S4B. *Calamagrostis epigejos* zeigt in Fläche S3B einen Rückgang im letzten Untersuchungsjahr (aber nicht in S3U); in Plot S4B wird dies deutlich für *Poa angustifolia* (signifikante Abnahme auch für den gesamten Zeitraum in S4B). Allgemein nahm *Calamagrostis epigejos* auf den beiden beweideten Flächen signifikant ab, jedoch auch in S4U. *Cynodon dactylon* etablierte sich bei S3B im Jahre 2020 neu mit noch sehr geringer Deckung. Die Artemisietea-Arten zeigen signifikante Zunahmen der beiden entomophilen und beweidungsempfindlichen Arten *Malva alcea* (verbissempfindlich, wichtige Pollen-Ressource für die gefährdete Wildbienenart *Tetralonia malvae*, die dort nachgewiesen wurde von der Erstautorin, nicht publiziert) sowie *Silene latifolia* subsp. *alba* (Nachtfalterblume); beide in jeweils einer U-Fläche. Die Stellarietea-Arten stellen die Gruppe mit einigen Zunahmen: je eine beziehungsweise 3 Arten in den B-Flächen, jeweils eine Art in den U-Flächen. Bei den Moosen gibt es entsprechend Plot S2U eine signifikante Zunahme bei *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* im Plot S4U.

Die Gesamtartenzahl bei S3U liegt bei 85, die bei S3B weist 4 Arten mehr auf (89). Die entsprechenden Werte für S4U und S4B sind 73 und 74. Eine hohe Anzahl haben die Arten mit signifikantem Rückgang bei S3U: 21 und S3B: 26. Die Zahl der Arten mit signifikantem Rückgang (18 Arten) ist bei der am stärksten ruderalisierten Fläche S4U um 7 Arten höher als im S4B-Plot (11 Arten). Demgegenüber stehen Zunahmen von 3 Arten bei S3U und 5 Arten bei S3B; bei S4U und S4B gibt es jeweils 6 Arten mit Zunahme. Bemerkenswert ist die Zunahme von *Medicago falcata*/*M.* × *varia* in den beweideten Plots S3B und S4B (siehe oben und Diskussion).

Abb. 5a: Frühsommeraspekt von S3 mit dem beweideten Plot S3B im Vordergrund und dem Exclosure mit Plot S3U im 10. Jahr nach der Auszäunung. *Sedum acre* ist vor allem im beweideten Bereich aspektbildend und hat im unbeweideten Plot signifikant abgenommen. 1. 7. 2009, A. Schwabe. – Early summer aspect of S3 with the grazed plot S3B in the foreground and the exclosure with plot S3U in the tenth year after fencing in the background. *Sedum acre* is mainly aspect-forming in the grazed area and decreased in the ungrazed plot significantly.

Abb. 5b: Unbeweideter Plot S3U mit dichter, ruderal getönter Vegetation im 24. Jahr nach der Auszäunung. *Calamagrostis epigejos* ist sichtbar, das im beweideten Plot signifikant abgenommen hat. 23. 8. 2023, A. Schwabe. – Ungrazed plot S3U with dense and ruderal features of the vegetation in the 24th year after fencing. *Calamagrostis epigejos* is visible, which decreased in the grazed plot significantly.

Abb. 6a: Ruderalaspekt von Plot S4U, im 10. Jahr nach der Auszäunung mit *Poa angustifolia* und *Saponaria officinalis.* Beide Arten haben auf der Fläche S4B signifikant abgenommen. 1. 7. 2009, A. Schwabe. – Ruderal aspect of plot S4U in the tenth year after fencing with *Poa angustifolia* and *Saponaria officinalis.* Both species decreased on the grazed plot S4B significantly.

Abb. 6b: Aufgelockerter beweideter Plot S4B (links) und ruderal geprägter unbeweideter Plot S4U (rechts) im 24. Jahr nach der Auszäunung von S4U. 23. 8. 2023, A. Schwabe. – More open grazed plot (S4B, left) and ruderal ungrazed plot (S4U, right) in the 24th year after fencing of S4U.

Dauerflächen mit Gehölzsukzession

Diese Flächen wurden von 2000 bis 2012/13, also 14 beziehungsweise 15 Jahre lang untersucht. Auch hier betrachten wir signifikante Veränderungen und Daten aus den nicht gedruckten Originalaufnahmen.

Spalte IV; Plot S1U unbeweidet, S1B beweidet (Abb. 7a, 7b)
Diese Plots waren durch ein offenes Allio-Stipetum capillatae und zunächst 2000 nur initiales Gebüsch (*Prunus spinosa* mit klonalem Wachstum) geprägt; später entwickelte sich eine teilweise Durchdringung zwischen bis zu 60 % deckendem Krüppelschlehen-Busch und offenem Allio-Stipetum. Die offenen Teile der Fläche haben große Ähnlichkeit mit den Plots S2U, S2B. Auch hier kommt es zu signifikanten Rückgängen der Koelerio-Corynephoretea-Arten bei S1U (7 Arten) gegenüber 2 Arten bei S1B. Wie in Plot S3U hat hier ebenfalls die verbissempfindliche *Malva alcea* (siehe oben) in der U-Fläche signifikant zugenommen. Die Saumart *Agrimonia procera* nimmt in S1U zu; *Prunus spinosa* zeigt eine starke Zunahme bei S1U (in den letzten zwei Untersuchungsjahren auch bei S1B, siehe unten). Die trittempfindliche *Cladonia furcata* nimmt bei S1U zu, bei S1B ab, und auch *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* nimmt bei S1B ab.

Die Gesamtartenzahlen in den 15 untersuchten Vegetationsperioden liegen bei 95 (S1U) beziehungsweise 99 (S1B) und sind demnach noch höher als bei den Plots S2U und S2B, obwohl hier die Untersuchungszeit kürzer war.

Abb. 7a: Plot S1U mit offenen Allio-Stipetum capillatae-Anteilen und *Prunus spinosa*-Gebüsch, im 6. Jahr nach der Auszäunung. 11. 5. 2005, A. Schwabe. – Plot S1U with open Allio-Stipetum capillatae parts and *Prunus spinosa* shrub (sixth year after fencing).

Abb. 7b: Fläche S1U (links) und S1B (rechts) mit dichten Krüppelschlehen (U) beziehungsweise einem stärker aufgelockerten, beweideten Bestand, im 10. Jahr nach der Auszäunung. 1. 7. 2009, A. Schwabe. – Site S1U (left) and S1B (right) with concentrated crippled *Prunus spinosa* shrubs (U) respectively a more open, grazed part (tenth year after fencing).

Spalte V; Plot G1U unbeweidet, G1B beweidet (Abb. 8)

Die Plots waren schon zu Beginn der Untersuchungen stark von Gebüschen geprägt und die Sand- und Trockenrasenarten bereits ausgedünnt. Im Zuge der Sukzession fand bereits zur Brachezeit vor 2000 eine oberflächliche Bodenversauerung statt (Tab. 2). Hier liegt ein deutlicher Schwerpunkt in der Weiterentwicklung der Gebüsche, von denen in G1U fünf Arten zunahmen, in G1B (bei nur schwacher Beweidung) eine Art (*Quercus robur*). *Prunus spinosa* konnte bei G1B dezimiert werden. Parallel zu den Gebüschen nahmen auch Trifolio-Geranietea-Arten wie *Viola hirta* in G1B und G1U und *Agrimonia procera* (nur in G1U) signifikant zu. Hinzu tritt eine signifikante Zunahme von einigen mesophytischen Arten der Molinio-Arrhenatheretea (je drei Arten in U und B) sowie in G1U dem sich oft in basenärmeren Brachen anreichernden Roten Straußgras (*Agrostis capillaris*).

Die Gesamtartenzahl liegt im Plot G1U bei 62, im Plot G1B bei 63 und somit deutlich niedriger als bei der etwa gleichlang untersuchten Fläche S1.

Abb. 8: Stärker fortgeschrittenes Sukzessionsstadium von Plot G1U im 10. Jahr nach der Auszäunung mit aufwachsender Eiche (*Quercus robur*) sowie *Prunus spinosa*. 11. 7. 2009, A. Schwabe. – Advanced stage of succession of plot G1U in the tenth year after fencing with growing-up oak (*Quercus robur*) as well as *Prunus spinosa*.

6.3. Betrachtung einzelner und synoptischer Parameter in Liniendiagrammen

6.3.1. Artenzahlen (Abb. 9)

Bei allen Plots (beweidet B und unbeweidet U) lässt sich eine langsame Abnahme der gesamten Artenzahl nach einem Hoch im Jahre 2004 (teilweise 2005) nach dem ersten extremen Trockenjahr (2003) bis zum Jahre 2022 feststellen. In den Folgejahren gab es in den Trocken-/Hitzejahren immer wieder Einbrüche und danach Erholungen der Artenzahl, jedoch allgemein mit abnehmender Tendenz der Artenzahlen. Die Werte von 2004 wurden nie mehr erreicht (siehe dazu die Diskussion in Kapitel 7.2. über mögliche abiotisch wirksame Faktoren).

Bei den 23 Jahre untersuchten Flächen verringerten sich die Artenzahlen von im Mittel knapp 50 bis 60 pro Plot im Jahre 2004 auf 25 bis 40 im Jahre 2022, wobei dieser quantitative Aspekt ohne Betrachtung der Qualität der Arten für den Naturschutz nur ein grober Zensus ist und durch die „Target Species Ratio“ (siehe Kapitel 6.3.5.) relativiert wird. Beweidungseffekte im Sinne einer Erhöhung der Artenzahl zeigen sich insbesondere bei den ruderalisierten Flächen S3 und S4, die auf den unbeweideten Plots dicht und verfilzt sind.

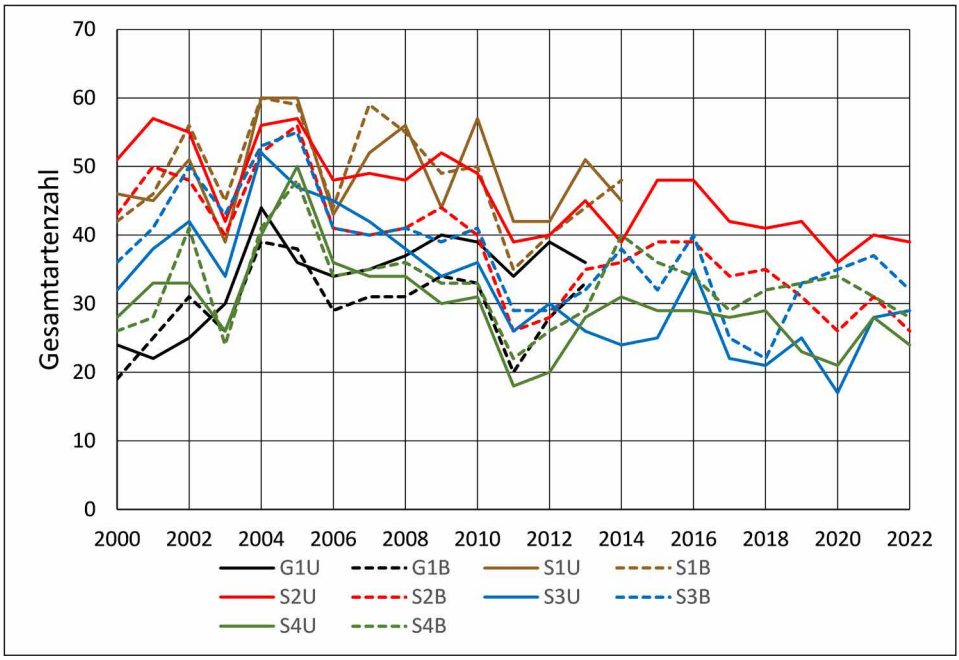


Abb. 9: Entwicklung der Gesamtartenzahlen (mit Moosen und Flechten) auf den Plots im Verlauf der Jahre. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of species numbers (with bryophytes and lichens) on the plots over the investigated years. Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

Die Fläche S2 hatte bereits 2000 eine heterogene Artenzahl mit acht Arten mehr in der unbeweideten Fläche; dieser Unterschied erhielt sich auch 2022 auf viel niedrigerem Artenzahl-Niveau, nachdem es zeitweise auch zu Annäherungen der Artenzahlen von B und U kam (zum Beispiel 2005 auf hohem Niveau). Es gibt hier keinen Beweidungseffekt, wenn man nur die undifferenzierte Artenzahl betrachtet (siehe aber Kapitel 6.3.5.: TSR). Die Fläche S2U ist 2022 noch so lückig, dass sowohl Arten des Allio-Stipetum capillatae als auch Elemente des Koelerion glaucae überleben können; der beweidete Plot S2B weist 2022 eine niedrigwüchsige Struktur mit starker sommerlicher Erwärmung auf mit konkurrenzschwachen Arten wie *Phleum arenarium*.

6.3.2. Artenzahlen von Annuellen, in Bezug zu Klimaereignissen (Abb. 10)

Die im Kapitel 2 beschriebenen Trocken- und Hitzejahre zeigen jeweils dramatische Rückgänge der Annuellen, die oftmals der Klasse der Koelerio-Corynephoretea angehören. Im darauffolgenden Jahr erfolgte jeweils eine Kompensation oder sogar Überkompensation mit besonders vielen gekeimten annuellen Arten. Diese Peaks der Jahre der Kompensation werden jedoch im Laufe der Jahre niedriger. Die Tiefpunkte in den Jahren 2008 und 2020 sind nicht mit einem Extremjahr zu erklären (siehe Diskussion Kapitel 7.2).

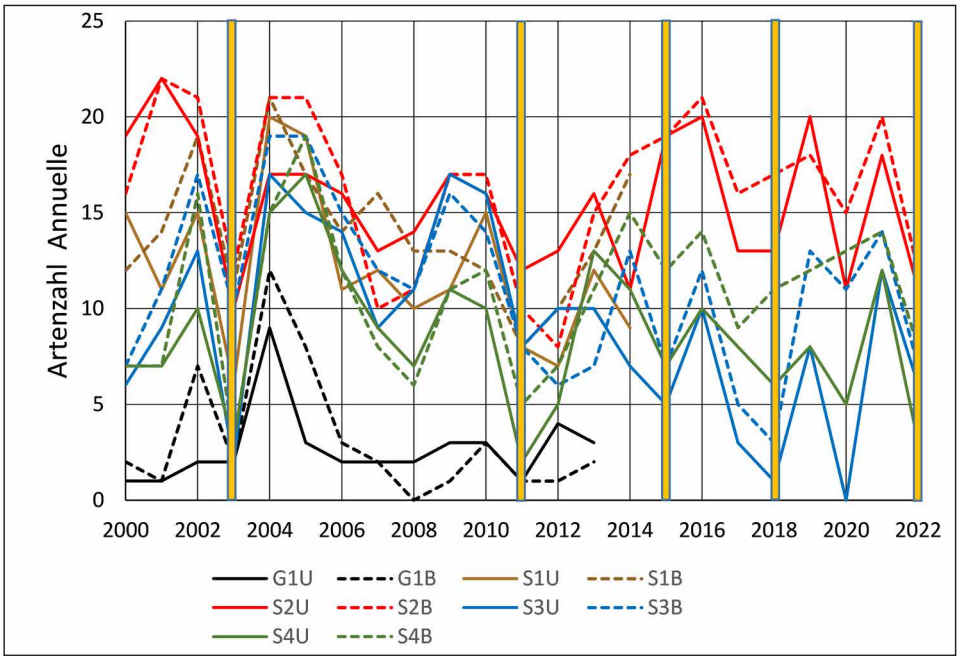


Abb. 10: Entwicklung der Artenzahlen der Annuellen auf den Plots im Verlauf der Jahre. Gelbe Säulen-Markierungen: Hitze-/Trockenjahre. Die Jahre 2008 und 2020 hatten stark reduzierte Niederschläge im Frühjahr. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of species numbers of annuals on the plots over the investigated years. Yellow bars: heat-/drought-years. The years 2008 and 2020 had strongly reduced precipitation in spring. Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

6.3.3. Rote-Liste-Arten und Arten der Vorwarnliste (Abb. 11)

Bei diesen Arten werden die höchsten Werte von maximal 12 Arten in Fläche S2U und B bis 2009 erreicht, die dann im Laufe der Jahre auf 7 bis 10 absinken. Ein Beweidungseffekt im Sinne einer leichten Erhöhung zeichnet sich in der ruderalisierten Fläche S3B ab. Wie bei den Gesamtartenzahlen ergibt sich auch hier in verschiedenen Fällen im Laufe der Untersuchungsjahre eine Abnahme von Arten unabhängig von der Beweidung, wobei sich die Werte in den letzten 10 Jahren stabil gehalten haben. *Helichrysum arenarium* zeigt jedoch auf den unbeweideten Plots S2 bis S4 in jeder Fläche signifikante Abnahmen, ansonsten sind auch annuelle Arten bei den Koelerio-Corynephoretea betroffen, so zum Beispiel *Myosotis stricta* bei U- und B-Flächen (Tab. 3).

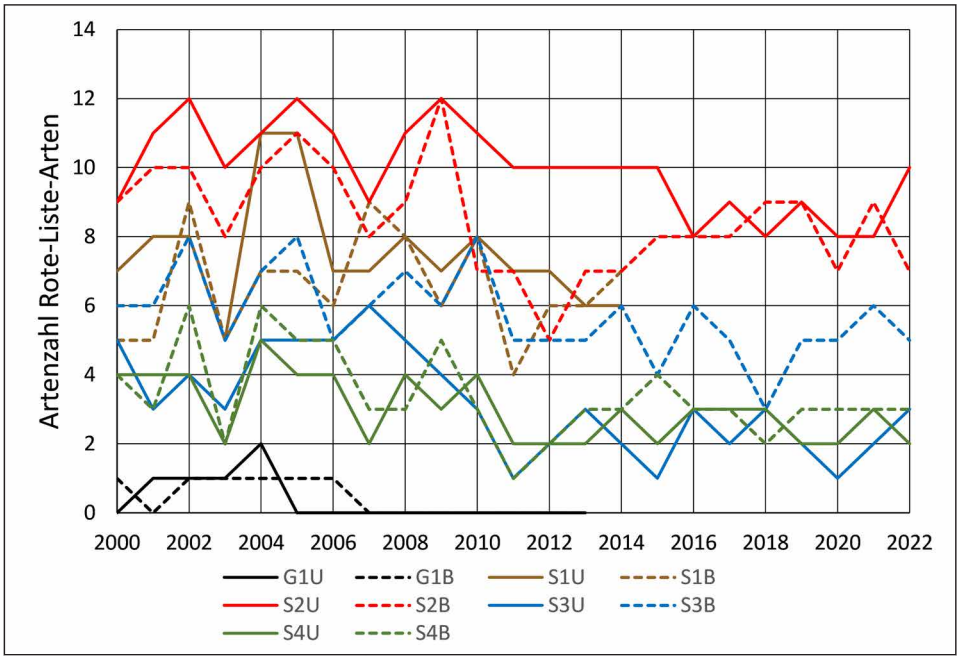


Abb. 11: Entwicklung der Artenzahlen der Hessischen Roten Liste einschließlich der Vorwarnliste auf den Plots im Verlauf der Jahre. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of species numbers of the Hessian Red list species (including near-threatened species). Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

6.3.4. Deckung von *Prunus spinosa* (S1, G1) (Abb. 12)

Hier liegen Daten vor zur Deckung von *Prunus spinosa* in 14 beziehungsweise 15 Untersuchungsjahren. In beiden Fällen vergrößerte sich die Deckung der klonal wachsenden Art in dieser Periode ohne Beweidung von 25 % auf 60 % Deckung, immer auch mit Rückschlägen, und erstaunlicherweise mit einem Peak im Trockenjahr 2003 in beiden unbeweideten Flächen. In der Fläche G1U wurden die 60 % bereits im vierten Untersuchungsjahr erreicht, und dann kam es zu Auf- und Ab-Entwicklungen. Durch Beweidung

fand vor allem eine Reduktion in der Fläche G1B statt auf Werte unter 20 %. Auf der trockeneren Fläche S1B in einem Krüppelschlehen-Bestand wurde die Deckung der Schlehe zwar deutlich reduziert, nahm in den letzten beiden Untersuchungsjahren jedoch auch wieder zu.

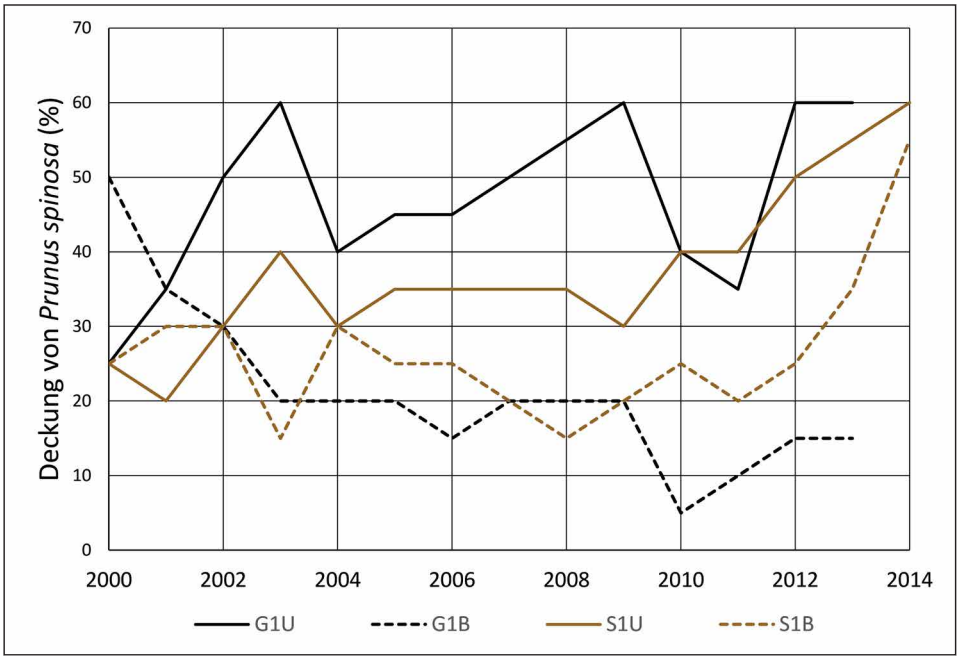


Abb. 12: Entwicklung der Deckung (%) von *Prunus spinosa* auf den Plots G1 und S1 im Verlauf der Jahre. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of the cover of *Prunus spinosa* (% cover) on the plots G1 und S1 over the investigated years. Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

6.3.5. Zielarten-Index (Target Species Ratio: TSRqual, TSRquant) (Abb. 13a, 13b)

Beide Indizes sind, dem Sukzessionsgradienten der Flächen S2, S3 und S4 folgend, bei der ersten Fläche S2 am höchsten mit einer Vielzahl von proportional bedeutenden Zielarten (im Vergleich zu den Nicht-Zielarten) und sinken zur Fläche S4 hin. Die Steppenrasen-Gebüschfläche mit noch intaktem Allio-Stipetum capillatae S1 liegt nahe an der Fläche S3 im Diagramm, wohingegen die Gehölzfläche G1 kaum proportional hervortretende Zielarten aufweist. Vergleicht man den Beweidungseffekt bei TSRqual, ist dieser vor allem bei dem Sukzessions- und Ruderalisierungsgradienten S2B bis S4B für den Naturschutz sehr positiv mit hohen TSR-Werten ausgeprägt, gipfelnd in Spitzenwerten um 0,7 bei S2B. Alle drei B-Flächen des Gradienten haben vor allem in den letzten Jahren deutlich höhere TSRqual-Werte als die U-Plots.

Bei quantitativer Betrachtung zeigen sich prinzipiell entsprechende Ergebnisse, nur sind sie noch klarer in der Auswirkung des Beweidungseffektes. Die Fläche S2B hat in

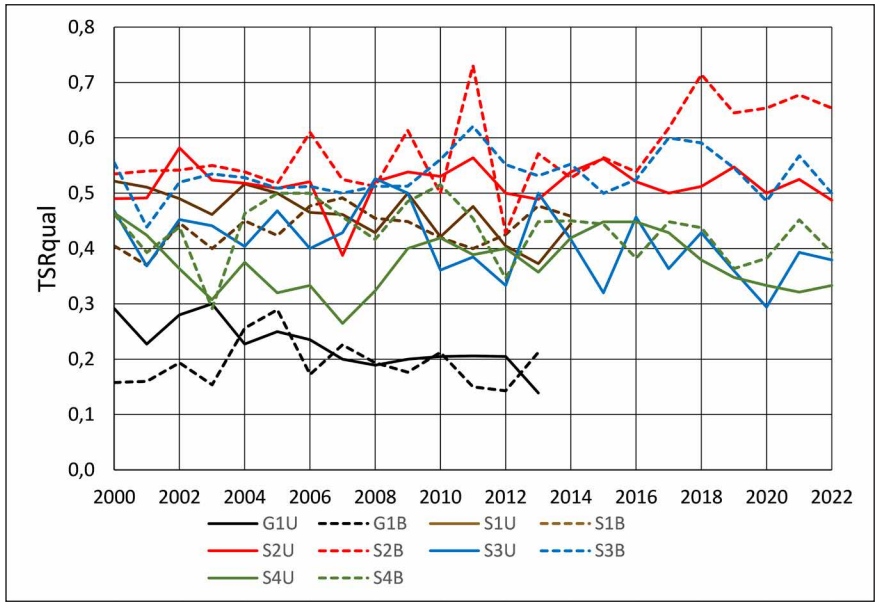


Abb. 13a: Entwicklung des qualitativen Zielartenindex (TSRqual) auf den Flächen im Verlauf der Jahre. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of the qualitative Target Species Ratio (TSRqual) on the plots over the investigated years. Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

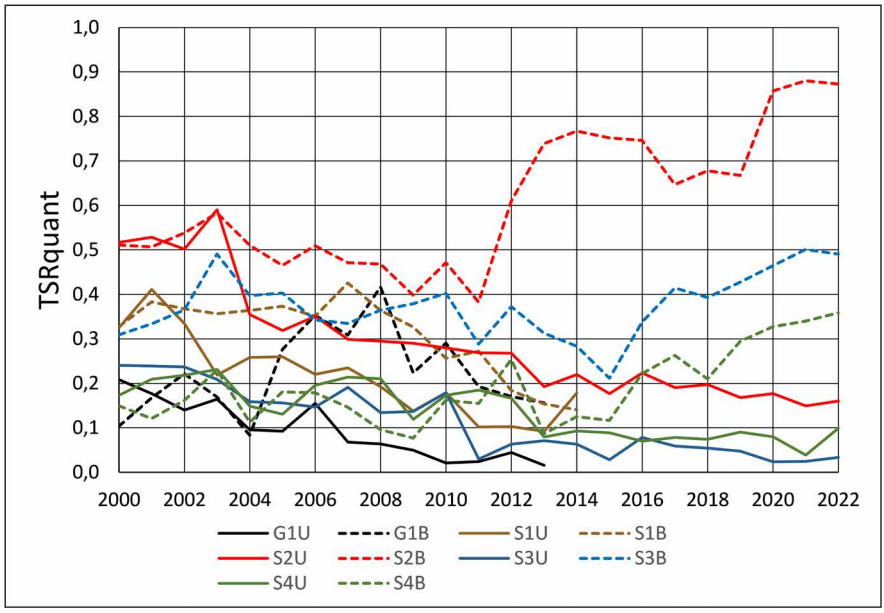


Abb. 13b: Entwicklung des quantitativen Zielartenindex (TSRquant) auf den Flächen im Verlauf der Jahre. Unbeweidete Plots: durchgezogene Linien, beweidete Plots: gestrichelte Linien. – Development of the quantitative Target Species Ratio (TSRquant) on the plots over the investigated years. Ungrazed plots: solid lines, grazed plots: dashed lines.

den letzten Jahren dabei außergewöhnliche Werte von über 0,8 und seit 2013 um 0,7–0,8; das heißt sie wird hauptsächlich durch Zielarten dominiert und charakterisiert.

Die Steppenrasen-Gebüschfläche S1 zeigt vor allem bei TSRquant einen Beweidungseffekt, der in den letzten Jahren schwindet (siehe dazu die Deckung von *Prunus spinosa*).

Die Werte sind bei Fläche G1U und G1B im Jahr 2000 bereits qualitativ und quantitativ auf einem niedrigen Niveau. Die Beweidung konnte bei TSRquant den Wert für G1B steigern.

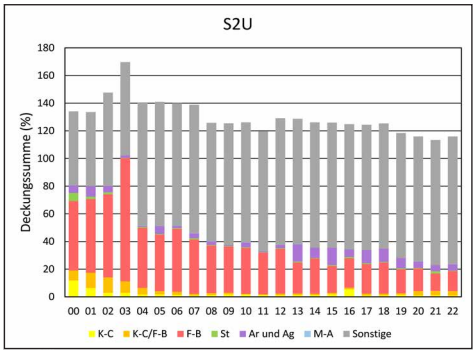
6.3.6. Deckungswerte der Pflanzenarten, aufgeschlüsselt nach pflanzensoziologischen Klassen (Abb. 14a–h)

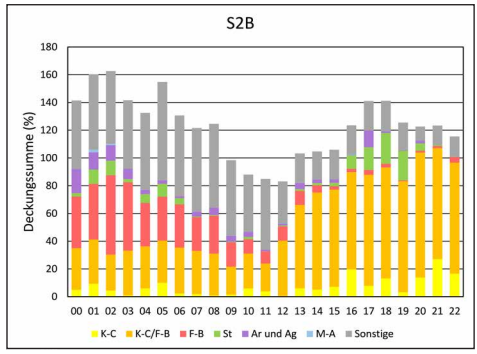
In der Fläche S2B zeigt sich auch bei den absoluten Deckungswerten und nicht nur bei den Proportionen Zielarten versus Nicht-Zielarten (Kapitel 6.3.5.) ein gut darstellbarer Effekt der Beweidung. Es verstärkt sich die Bedeutung der Koelerio-Corynephoretea-Arten und der verbindenden Arten zwischen beiden Klassen in hohem Maße, während Festuco-Brometea-Arten in den letzten gut 10 Jahren schwinden.

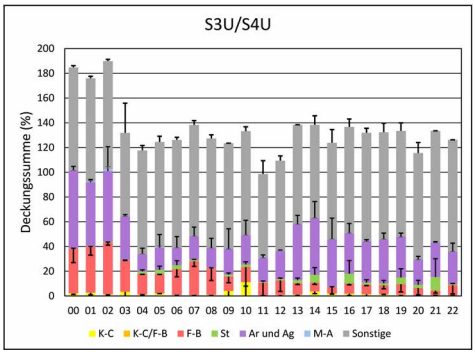
Bei S2U ist die höhere Bedeutung der Festuco-Brometea-Arten gegenüber den Koelerio-Corynephoretea-Arten sichtbar. In S2U sinken die Anteile der Koelerio-Corynephoretea-Arten schon nach circa 5 Jahren auf ein Minimum und die „Sonstigen“ gewinnen an Gewicht.

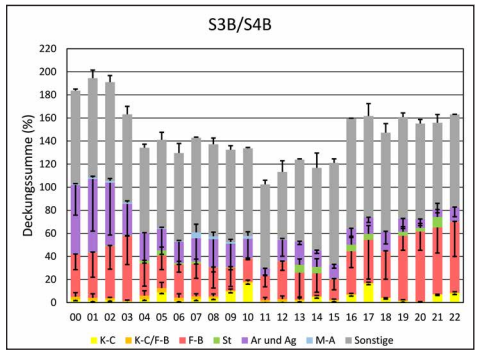
Die beiden Flächen mit Ruderalisierungstendenzen S3 und S4 wurden zusammengefasst wegen ihrer sehr ähnlichen Entwicklungen und mit Standardabweichungen dargestellt. Die Deckung der Zielarten ging hier in den unbeweideten Plots zurück und die Ruderalisierungszeiger der Agropyretea und Artemisietea nahmen zu. In den beweideten Plots erfolgte eine Zunahme der Zielarten und eine Abnahme der Ruderalisierungszeiger.

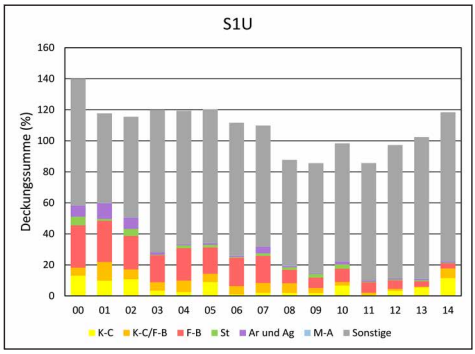
In der Steppenrasen-Gebüschfläche S1U und B wurden mit dem Gehölzaufkommen von *Prunus spinosa* Zielarten stark zurückgedrängt und „Sonstige“ sind bestimmend in den letzten Untersuchungsjahren. In der Fläche G1 konnten sich Festuco-Brometea-Arten in der beweideten Fläche halten; in der unbeweideten Fläche verdrängten vor allem Gehölze die Zielarten.

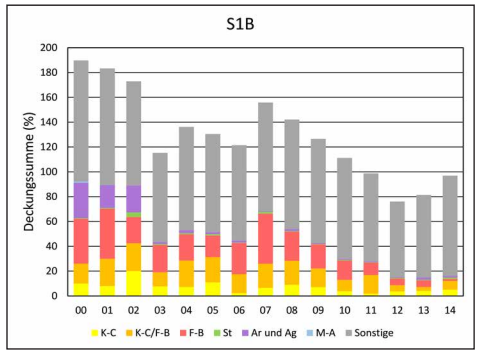

S2U
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige

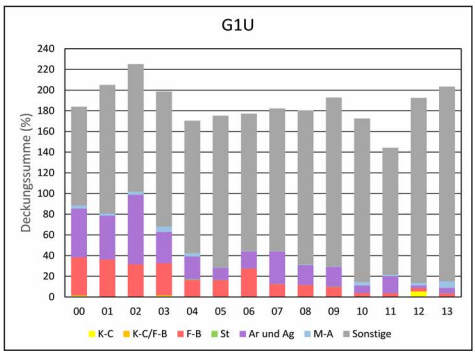

S2B
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige

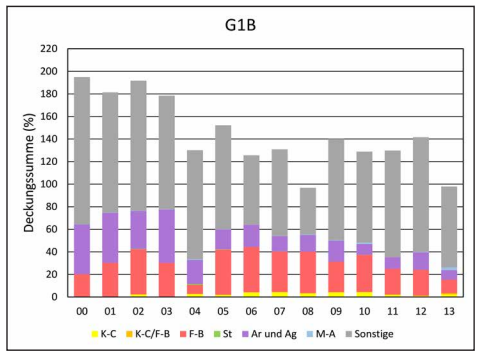

S3U/S4U
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige


S3B/S4B
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige


S1U
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige


S1B
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige


G1U
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige


G1B
Deckungssumme (%)
K-C K-C/F-B F-B St Ar und Ag M-A Sonstige

◀ Abb. 14a bis 14h: Deckungssummen (%) der Pflanzenarten auf den Plots im Verlauf der Jahre (2000–20..), aufgeschlüsselt nach pflanzensoziologischen Klassen. K-C = Koelerio-Corynephoretea, K-C/F-B = Übergangsarten Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea, F-B = Festuco-Brometea, St = Stellarietea, Ar und Ag = Artemisietea und Agropyretea, M-A = Molinio-Arrhenatheretea. – Mean sums of cover (%) of the plant species on the plots in the course of the years (2000–20..), broken down by syntaxa. K-C = Koelerio-Corynephoretea, K-C/F-B = conjointly Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea, F-B = Festuco-Brometea, St = Stellarietea, Ar and Ag = Artemisietea and Agropyretea, M-A = Molinio-Arrhenatheretea.

6.4. Entwicklung einer Dauerfläche des Koelerion glaucae seit 1998 (Tab. 4, Abb. 15a, 15b)

Es ist bemerkenswert, dass die Fläche den Charakter einer Gesellschaft des Koelerion glaucae, der sie 1998 ausgezeichnet hatte, auch im Jahre 2023 nicht verloren hatte. Die Zahl der Koelerio-Corynephoretea-Arten erhöhte sich sogar von 6 bis 9 in den frühen Jahren und einem Absinken auf 4 im Trockenjahr 2003 auf 16 im Jahre 2023 (Tab. 4, im Anhang). An diesem Extremstandort blieb die Lückigkeit der Vegetation erhalten, und es herrschen weiterhin konkurrenzarme Bedingungen. Im Jahre 2023 wurde eine starke Aktivität von Kaninchen beobachtet mit Grabspuren und kleinen Faeces-Depositionen. Die Aktivität der Kaninchen dürfte auch das vitale Gedeihen der seltenen *Bassia laniflora* an dieser Stelle begünstigt haben, die an basenreiche, offene Standorte gebunden ist und im Koelerion glaucae auftritt. Die seltenen Vorkommen im Gebiet sind durch den Landschaftspflegehof Stürz durch Rechgut-Einbringungen aus den Vorkommen in Darmstadt-Eberstadt in den letzten Jahren ergänzt worden. Im Bereich von Kaninchen-Aktivitäten (Bauten, Grabstellen und Wechsel) tritt die Pflanze im Bereich der östlichen Düne wieder

Abb. 15a: 10 m²-Dauerfläche (D5) mit Pioniervegetation des Koelerion glaucae mit WSW-Hangneigung und lückiger Struktur. Der Plot hatte diesen Charakter bereits im Jahre 1998. 30. 5. 2023, R. Cezanne. – 10 m²-permanent plot (D5) covered with pioneer vegetation of the Koelerion glaucae with WSW slope inclination and gaps in the sward. The plot had these characteristics already in the year 1998.

Abb. 15b: Detailaspekt aus Dauerfläche D5 mit Jungpflanzen der C4-Pflanze *Bassia laniflora*. Der seltene einjährige Wärmekeimer keimt etwa im Mai und fruchtet im September/Oktober. 30. 5. 2023, R. Cezanne. – Close-up of permanent plot D5 with juvenile individuals of the C4-plant *Bassia laniflora*. The rare annual species needs stratification by warm conditions for the germination (normally in May) and is fruiting in September/October.

häufiger auf; einen weiteren pflanzensoziologischen Schwerpunkt hat sie im Salsolion. Die Flächendeckung des Koelerion glaucae beträgt inzwischen nur noch circa 300 m^2 (gegenüber 2,2 ha 1983 und 0,8 ha 2003; siehe Kapitel 3).

7. Diskussion

Im Folgenden sollen die in der Einführung formulierten Fragen diskutiert werden.

7.1. Welche Beweidungseffekte gab es im Allio-Stipetum capillatae (mit verschiedenen Ruderalisierungsgraden) im Laufe von mehr als 20 Jahren?

In vielen Teilen Zentral- und Westeuropas konnte gezeigt werden, dass Beweidung mit Schafen und auch mit Eseln eine sehr gute Management-Maßnahme ist, um der Ruderalisierung und der Dominanzbildung ruderaler Gräser entgegenzuwirken. Dies haben wir auch bei verschiedenen unserer eigenen Untersuchungen im Darmstädter und Darmstadt-Dieburger Sandgebiet zeigen können (zusammengefasst bei Schwabe & al. 2015). Auch aus anderen Gebieten liegen entsprechende Daten vor (zum Beispiel aus verschiedenen Dünengebieten der Niederlande: Kooijman & Van der Meulen 1996 und aus Belgien: Lamoot & al. 2005 sowie Nord-Wales, Großbritannien: Plassmann & al. 2010); siehe dazu auch das Review von Rosenthal & al. (2012) zur Beweidung und die Meta-Analyse von Elliot & al. (2023) zur sinkenden Phytodiversität bei Brachlegung von Grasland.

Sehr klare für den Naturschutz positive Beweidungseffekte lassen sich trotz der Hitze- und Trockenjahre über die Auswertung von integrierenden Parametern herausarbeiten. Der qualitative Zielartenindex erreicht auf den beweideten Flächen auf allen S-Flächen höhere Werte als auf den unbeweideten. Die Spitzenwerte bei S2 liegen um 0,7 (unbeweidete Flächen um 0,5) und bei den quantitativen Werten bei fast 0,9 (S2B) im Maximum (siehe Kapitel 6.3.5.). Die Fläche S2 beginnt beim quantitativen Index bei 0,5 bei beiden Typen U und B und schraubt sich dann hoch auf den außerordentlich hohen Wert von fast 0,9 (B), im Falle von U sinkt er sukzessive auf um 0,2. Die Werte der beweideten Flächen sind aus Naturschutzsicht optimal und belegen den proportional hohen Anteil an Zielarten. In anderen Systemen, zum Beispiel den stark gefährdeten Borstgrasrasen auf nährstoffarmem, saurem Substrat wurden aktuell in hervorragenden Flächen Werte von 0,6 (qualitativ) berechnet, in früheren Jahren (1946) 0,8 (Schwabe & Kratochwil 2022). Somit liegt hier eine hervorragende universelle Methode zur Beurteilung einer hohen proportionalen Bedeutung von Zielarten in gefährdeten Rasengesellschaften vor.

Eine Zielart, die in den unbeweideten S-Flächen S2 bis S4 signifikant abgenommen hat, ist zum Beispiel *Helichrysum arenarium*. Die Art ist eine wichtige Blütenressource für Wildbienen (Beil & Kratochwil 2004).

Positiv aus Naturschutzsicht zu vermerken ist außerdem die Förderung der Koelerio-Corynephoretea-Arten in Fläche S2, was auf Landschaftsebene einen Beitrag zur Erhöhung der Diversität von Zielarten leistet (siehe Kapitel 6.3.6.).

Im Vergleich zu den sehr klaren Entwicklungen der nach einem systematischen Raster angelegten Dauerflächen von 79 m^2 Größe aus dem Gesamtgebiet der offenen Griesheimer Düne (einschließlich nährstoffreicherer ehemaliger Äcker), die von 2000 bis 2011 bearbeitet wurden (das heißt in einem Zeitabschnitt mit einem extremen Trocken-/Hitzejahr 2003 und einem Jahr mit trockenem Frühjahr 2011), zeigen sich in der langen Periode mit vielen Hitze- und Trockenjahren schwächere Beweidungseffekte bei der Zurückdrängung von *Calamagrostis epigejos*. Die Art verlor in den nährstoffarmen Flächen des Allio-Stipetum capillatae generell an Vitalität und wurde in unserer Untersuchungsperiode auch in unbeweideten Flächen auf dem nährstoffarmen trockenen Substrat der Dauerflächen S1 bis S4 und G1 geschwächt. Insgesamt nahm *C. epigejos* in den 5 beweideten Flächen signifikant ab und in 4 unbeweideten (Kapitel 6.2.). Süß & al. (2004) belegten nach Untersuchungen in unserem weiteren Gebiet, dass *C. epigejos* vor allem dann wenig vital ist, wenn Nährstoffarmut und Trockenheit zusammen auftreten. Die hohe Nährstoffarmut wird durch die Untersuchungen von Bergmann (2004) belegt, siehe Kapitel 4. Wenn dann jedoch wiederum ein niederschlagsreicheres Jahr kommt, ist der vielfach in unserem Gebiet belegte Beweidungseffekt (Schwabe & al. 2015) gerade bei dieser Art auch im nährstoffarmen Allio-Stipetum capillatae essentiell.

Wie im Kapitel 6.2. beschrieben, nahm die sowohl von Schafen als auch von Eseln prioritär gefressene entomophile Sippe und Zielart *Medicago falcata*/*M.* × *varia* in den ruderalisierten beweideten Plots zu. Die kurzzeitigen Phytomasse-Entzüge durch die Beweidung können offenbar von der Pflanze gut kompensiert werden. Eine vermehrte Blattbildung von *Medicago varia* nach Phytomasse-Verlust ist experimentell nachgewiesen worden (Quinn & Hall 1996).

7.2. Wie entwickelten sich die Artenzahlen in beweideten und unbeweideten Flächen unter dem Einfluss von extremen Trocken- und Hitzejahren?

Die S-Flächen, insbesondere S1 und S2, erreichten, wie in Kapitel 6.3.1. dargestellt, in den ersten 10 Jahren enorm hohe Artenzahlen, die bis zu 60 Arten (bezogen auf die 25-m^2-Flächen) betrugen. Diese konsolidierteren Flächen unterscheiden sich von der Subassoziation „koelerietosum glaucae“, die von Korneck (1974) beschrieben wurde, und auf der Griesheimer Düne nach zwei Aufnahmen von Korneck (1974) Artenzahlen von 27 und 28 erreichten (20 m^2). Die sehr lückige Subassoziation „koelerietosum glaucae“ ist auf der Griesheimer Düne inzwischen praktisch erloschen. Die hohe Artenzahl unserer Bestände wurde erreicht, weil neben den Festuco-Brometea-Arten auch noch sehr viele Koelerio-Corynephoretea-Arten vorhanden sind, insbesondere auch Annuelle. Bei Beweidungsbeginn lag die Griesheimer Düne brach, und es hatten sich in den tiefgründigeren Bereichen bereits größere Bestände von *Calamagrostis epigejos* angesiedelt. Das Allio-Stipetum capillatae auf nährstoffarmem Substrat zeigte bei den Flächen S1 (gebüschfreie Bereiche) und S2 jedoch im Jahre 2000 noch die Merkmale einer jungen Brache. Diese ist in der Regel charakterisiert durch hohen Artenreichtum, da die oben genannten Trockenrasenelemente noch mit späteren Stadien koexistieren können. Das gilt jedoch bei Brachlegung nur für eine begrenzte Zeit (Kahmen & al. 2002). Die Koexistenz von Koelerio-Corynephoretea- und Festuco-Brometea-Arten muss langfristig durch die Beweidung

erhalten werden, die das dynamische Vegetationsmuster erhält und allgemein Dominanzen bricht (Koerner & al. 2018).

Die fünf extremen Trocken- beziehungsweise Hitzejahre führten zu erheblichen Artenrückgängen, vor allem bei den annuellen Arten (darunter auch solche der Koelerio-Corynephoretea), und anschließender Erholung im Folgejahr. Die Ausschläge in den Jahren 2008 und 2020 könnten als Hypothese durch einen sehr trockenen Mai (2020: April und Mai) mit nur der Hälfte der durchschnittlichen Niederschläge erklärt werden. Das System zeigt damit bei gelegentlichen Extremereignissen eine hohe Resilienz, wie das auch schon für einen kürzeren Zeitraum im weiteren Gebiet aufgezeigt werden konnte (Faust & al. 2011, Storm & al. 2019 im NSG „Ehemaliger August-Euler-Flugplatz von Darmstadt"). Diese Kompensation der Tiefpunkte in unserem Langzeit-Datensatz weist jedoch im Laufe der letzten 10 Jahre zunehmend unvollständigere Erholung auf. *Myosotis stricta*, mit einer Diasporenbank-Keimfähigkeit von mehr als 15 Jahren (Thompson & al. 1997), hat bereits signifikant in beweideten und unbeweideten Plots abgenommen. Durch die ständigen Pendelbewegungen der Populationen von Annuellen (darunter auch Rote-Liste-Arten) wird es langfristig wahrscheinlich zu Erschöpfungen der Diasporenbank kommen, die nur teilweise durch die Vielzahl an Diasporen aufgefangen werden kann, die durch die Schafbeweidung ausgebreitet wird (genaue Zahlen zur Quantität des Transfers im Griesheimer Sand bei Eichberg & Wessels-de-Wit 2011 sowie zur gut gefüllten Diasporenbank bei Krolupper & Schwabe 1998 und Eichberg & al. 2006). Auch längere Trockenperioden im Winter können Artenrückgänge beschleunigen, indem sie die Keimlingsmortalität der vielen annuellen Winterkeimer erhöhen und die Diasporenbank dezimieren (Harrison & al. 2018).

7.3. Welche Rolle spielen Gehölze in der Sukzession?

Es werden für mittlere Standorte vegetative Sukzessionsgeschwindigkeiten bei Polykormonen von *Prunus spinosa* von 0,5 m im Jahr angegeben, wie Schreiber & al. (2009) bei ihren vieljährigen Untersuchungen auf Brachen in Baden-Württemberg feststellten. Wie die Abb. 6 zeigt, liegt in unserer unbeweideten Fläche S1 die Zunahme der Deckung zunächst bei wenigen Prozent im Jahr bis zu 10 % jährlich von 2001 bis 2003. Nach dem Trockenjahr erfolgte ein Rückschlag, und nach einem weiteren Rückschlag von 2011 bis 2014 wiederum eine Zunahme von 20 % in drei Jahren. In der nicht so trockenen Fläche G1 sind die Fortschritte der *Prunus-spinosa*-Sukzession in den ersten 4 Jahren höher mit knapp 10 % jährlich; dann folgen zweimal Rückschläge und Erholungen. Verbuschungen bis 60 % können somit bei Beteiligung von *Prunus spinosa* in einem Zeitraum von 15 Jahren stattfinden, wobei die Krüppelschlehen durch Beweidung kaum reduziert wurden, wohl aber der mesophytischere Bestand in Fläche G1. Der kritische Punkt für die Sukzession ist die nur selten erfolgreiche generative Etablierung der durch Vögel endozoochor ausgebreiteten Art *Prunus spinosa* und anderer endozoochor ausgebreiteter Gehölze (Kollmann 1994). Aus Naturschutzsicht ist es durchaus erwünscht, kleinflächige Gebüsche zu fördern, zum Beispiel als Teillebensraum für den Neuntöter (*Lanius collurio*); ein vitales Polykormon von *Prunus spinosa* ist jedoch nur schwer einzudämmen. Allgemein ist die erfolgreiche langfristige Etablierung von Gehölzen auf den trockenheißen Standorten des Allio-Stipetum capillatae eingeschränkt und viel geringer als zum

Beispiel in Halbtrockenrasen (zum Beispiel Leutratal in Thüringen nach Heinrich & al. 2012; hier erfolgte der Übergang von einem Halbtrockenrasen in ein Gebüsch-Ökosystem in 25 Jahren mit über 20 Gebüscharten). Unsere Gebüschfläche G1U weist 9 Gehölzarten auf. *Quercus robur* stirbt an der Griesheimer Düne im Allio-Stipetum capillatae oft im Jugendstadium ab, konnte aber in G1U und B dennoch signifikant die Deckung erhöhen. Als Problemart tritt in neuerer Zeit der Neophyt *Prunus serotina* auf, der bisher durch Beweidung und mechanische Pflege zurückgedrängt werden konnte, aber zum Beispiel als Pioniergehölz in Sandgebieten der Nord- und Ostseeküste und in anderen Sandgebieten ein großes Problem für den Naturschutz ist (Kowarik 2003, Nehring & al. 2013).

7.4. Wie ist die zukünftige Situation des Koelerion glaucae im Gebiet zu beurteilen?

Wie bereits bei den Untersuchungen der 79 m^2-Dauerflächen auf der Griesheimer Düne von 2000 bis 2011 (Schwabe & al. 2013), war es auch hier nicht möglich, durch Beweidung *Koeleria glauca* zu fördern, zum Beispiel an den offenen Stellen, die bei der Eselbeweidung entstehen (Wälzkuhlen, Scharrstellen). In der im Jahre 2000 noch relativ offenen Fläche S2 stellte sich nicht – wie erwartet – *Koeleria glauca* im beweideten Plot ein (die in der U-Fläche präsent war), wohl aber die Rote-Liste-Art *Phleum arenarium*. Für *Phleum arenarium* ist im Gebiet eine epizoochore Ausbreitung im Fell der Schafe und auch Endozoochorie nachgewiesen (Eichberg & Wessels-de Wit 2011).

Neben den abiotisch nicht mehr günstigen Bedingungen (weitgehendes Fehlen von starker Dynamik, die Tiefensand an die Oberfläche befördert) besteht inzwischen auch ein Problem der fehlenden generativen Ausbreitung. Die stark verkleinerten Populationen des Blauschillergrases haben im Gebiet nur einen geringen Fruchtansatz; auch kommt es zu starkem Fraß der wenigen Fruchtstände durch Kaninchen. Die einzelne Dauerfläche D5 (Kapitel. 6.4.) zeigt aber, dass sich Bestände bei lokal günstigen Umständen (Kaninchendynamik, starke Neigung und Insolation, lockere Sande) über gut 20 Jahre halten können. Dies ist allerdings nur kleinflächig der Fall.

In den Gebieten der Sandvegetation in Darmstadt und Darmstadt-Dieburg treten in Leitbildflächen großflächig vor allem noch gute Bestände des Koelerion glaucae im NSG „Ehemaliger August-Euler-Flugplatz von Darmstadt“ und im Gebiet „Beckertanne“ (Teil eines FFH-Gebietes) auf. In allen Gebieten gab es Bodenstörungen. Sehr vitale Bestände finden sich in den von uns wissenschaftlich begleiteten und zum Teil initiierten Restitutionsprojekten in Seeheim-Jugenheim (Storm & al. 2016) und im benachbarten Gebiet „Streitgewann“ auf drei mit Tiefensand gestalteten Neodünen (Storm & al. 2022). Alle Gebiete unterlagen Bodenstörungen oder haben erst ein sehr geringes Alter nach einer Tiefensand-Aufschüttung. Nach Mårtensson & al. (2012) sind *Koeleria glauca*-Pflanzen auf solchen kalkreichen dynamischen Standorten arm an arbuskulärer Mykorrhiza. Welche Rolle die Interaktionen mit der Mykorrhiza spielen ist unklar.

7.5. Ausblick

In unserer Untersuchungsperiode haben extreme Trocken- und Hitzejahre vielfach die Vegetationsstruktur bestimmt. Die beobachteten Vegetationsentwicklungen sind für die

zukünftigen Jahre eine Blaupause, da sich nach den Klimaprognosen die Hitzewellen in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts häufig wiederholen werden (EEA 2017). In niederschlagsreicheren Zeiten werden wiederum Effekte der Dominanzbildung ruderaler Gräser wieder bestimmend sein.

Aktuell hat das Allio-Stipetum capillatae auf den beweideten Flächen noch eine hervorragende Artenausstattung, einschließlich der Rote-Liste-Arten – trotz der geringen Arten-Abnahmen. Bestände des Koelerion glaucae können nur an konkurrenzarmen Sonderstandorten mit zum Beispiel Kaninchen-Dynamik oder anderer Dynamik überleben oder sich mit Hilfe von Restitution (Tiefensand und Inokulation) neu einstellen.

Danksagung

Die Langzeit-Untersuchungen im Untersuchungsgebiet NSG „Griesheimer Düne und Eichwäldchen“ waren Bestandteil verschiedener Projekte der TU Darmstadt, Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Vegetations- und Restitutionsökologie, und wurden finanziert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie und das Bundesamt für Naturschutz. Andreas Zehm fertigte im Rahmen des BMBF-Projektes „Sandökosysteme des Binnenlandes – Dynamik und Restitution“ die pflanzensoziologischen Aufnahmen der ersten 4 Jahre an. Das Regierungspräsidium Darmstadt unterstützte unsere Untersuchungen und erteilte die Genehmigungen für den Bau der Exclosures und die Betretung der Flächen. Der Landkreis Darmstadt-Dieburg unterstützte unsere Untersuchungen in verschiedenen Gebieten des Griesheimer Sandes ebenfalls. Der Landschaftspflegehof Stürz setzt mit hohem Sachverstand die Beweidung unter Berücksichtigung der naturschutzfachlichen Aspekte um. Detlef Mahn und Simone Schneider gaben wertvolle Anmerkungen zum Manuskript. Allen sei herzlich gedankt.

8. Literatur

Ackermann H. 1954: Die Vegetationsverhältnisse im Flugsandgebiet der nördlichen Bergstraße. – Schriftenreihe Naturschutzst. Darmstadt **2**, 1–134, 6 Tab. Darmstadt.

Ambos R. & O. Kandler 1987: Einführung in die Naturlandschaft. – Mainzer Naturwissenschaftl. Archiv **25**, 1–28, Mainz.

Barkman J. J., H. Doing. & S. Segal 1964: Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. – Acta Botan. Neerland. **13**, 394–419, Amsterdam.

Beil M. & A. Kratochwil 2004: Zur Ressourcennutzung von Wildbienen (*Hymenoptera*, *Apoidea*) in beweideten und unbeweideten Sand-Ökosystemen In: Schwabe A. & A. Kratochwil (Hrsg.) Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz? – NNA-Ber. **17**(1), 179–189, Schneverdingen.

Beil M., A. Kratochwil, C. Storm & A. Schwabe 2014: Community structure and diversity of vegetation and flower-visiting wild bees (*Hymenoptera*: *Apoidea*) in sandy dry grassland: are there congruent characteristics? – Phytocoenologia **44**, 175–192, Stuttgart.

Bergmann S. 2004: Zum Nährstoffhaushalt in Sandökosystemen der nördlichen Oberrheinebene: Sukzession, Ruderalisierungsprozesse und Effekte von Schafbeweidung. – Dissertation Technische Universität Darmstadt. 220 & XIX Seiten, Anhang.

Caspari S., O. Dürhammer, M. Sauer & C. Schmidt 2018: Rote Liste und Gesamtartenliste der Moose (*Anthocerotophyta* und *Bryophyta*). – Natursch. Biolog. Vielfalt **70**, 361–489, Bonn-Bad Godesberg.

Cezanne R. 1983: Über die Pflanzendecke offener und bewaldeter Flugsandstandorte bei Darmstadt, auch unter Naturschutzgesichtspunkten. – Diplomarbeit: Technische Hochschule Darmstadt. 104 Seiten & Anhang.

Cezanne R., M. Eichler & D. Teuber 2023: Rote Liste der Flechten, flechtenbewohnenden und flechtenähnlichen Pilze Hessens. 2. Fassung. – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.), Wiesbaden. 321 Seiten.

Cezanne R. & S. Hodvina 1998: Biomonitoring für das Naturschutzgebiet Griesheimer Düne und Eichwäldchen. – Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Darmstadt, Darmstadt. 125 Blatt.

Cezanne R. & S. Hodvina 2000: Biomonitoring für das Naturschutzgebiet Griesheimer Düne und Eichwäldchen. – Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Darmstadt, Darmstadt. 51 Seiten.

Cezanne R. & S. Hodvina 2003: Grunddatenerfassung zu Monitoring und Management des FFH-Gebietes Griesheimer Düne und Eichwäldchen 6117-301. – Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Darmstadt, Darmstadt. 72 Seiten, 53 Seiten Anhang, 12 Karten.

Drehwald U. 2013: Rote Liste der Moose Hessens. 1. Fassung, Stand April 2013. – Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden. 79 Seiten.

EEA (European Environment Agency) 2017: Global and European temperature. Version 13 Sep 2017. – https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-4/assessment [aufgerufen 9. 1. 2018].

Eichberg C., C. Storm, A. Kratochwil & A. Schwabe 2006: A differentiating method for seed bank analysis: validation and application to successional stages of Koelerio-Corynephoretea inland sand vegetation. – Phytocoenologia **36**, 161–189, Stuttgart.

Eichberg C., C. Storm, M. Stroh & A. Schwabe 2010: Is the combination of topsoil replacement and inoculation with plant material an effective tool for the restoration of threatened sandy grassland? – Appl. Veg. Sci. **13**, 425–438, Oxford.

Eichberg C. & S. Wessels-de Wit 2011: Schafe als Ausbreitungsvektoren von Samen und Früchten und als Faktoren für den Etablierungserfolg dieser Diasporen in offenen Sand-Ökosystemen. In: Süß K., C. Storm & A. Schwabe (Bearb.): Ried und Sand: Biotopverbund durch extensive Landbewirtschaftung. – Natursch. Biolog. Vielfalt **110**, 137–162, Bonn-Bad Godesberg.

Elliot T., A. Thompson, A.-M. Klein, C. Albert, N. Eisenhauer, F. Jansen, A. Schneider, M. Sommer, T. Straka, J. Settele, M. Sporbert, F. Tanneberger, A.-C. Mupepele 2023: Abandoning grassland management negatively influences plant but not bird or insect biodiversity in Europe. – Conserv. Sci. Pract., e13008, Hoboken.

European Commission 2013: Interpretation Manual of European Union Habitats. EUR 28 – European Commission, DG Environment, Brussels. https://eunis.eea.europa.eu/references/2435.

Faust C., C. Eichberg, C. Storm & A. Schwabe 2011: Post-dispersal impact on seed fate by livestock trampling – A gap of knowledge. – Basic Appl. Ecol. **12**, 215–226, Amsterdam & al.

Geller-Grimm F. 1995: Autökologische Studien an Raubfliegen (*Diptera*: *Asilidae*) auf Binnendünen des Oberrheintalgrabens. – Diplomarbeit Technische Hochschule Darmstadt. 124 Seiten.

Harrison S. P., M. L. LaForgia & A. M. Latimer 2018: Climate-driven diversity change in annual grasslands: Drought plus deluge does not equal normal. – Global Change Biol. **24**, 1782–1792, Hoboken.

Heinrich W., R. Marstaller & W. Voigt 2012: Eine Langzeitstudie zur Sukzession in Halbtrockenrasen – Strukturwandlungen in einer Dauerbeobachtungsfläche im Naturschutzgebiet „Leutratal und Cospoth“ bei Jena (Thüringen). – Artenschutzrep. **30**, 1–80, Jena.

Hillesheim-Kimmel U., H. Karafiat, K. Lewejohann & W. Lobin 1978: Die Naturschutzgebiete in Hessen. 2. Aufl. – Schriftenreihe Inst. Natursch. Darmstadt **11(3)**, 1–395, Darmstadt.

HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Abteilung Naturschutz, Dezernat N1), Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Regierungspräsidium Darmstadt, Regierungspräsidium Gießen, Regierungspräsidium Kassel, Werra-Meißner-Kreis 2023: Leitlinien für die Erhaltung und Entwicklung von FFH-Lebensraumtypen in Hessen. Teil I: Grünland-Lebensraumtypen, Wiesbaden. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/naturschutz/Lebensraueme_und_Biotopkartierungen/Lebensraeume/LRT-Leitlinien_Fassung-1_2023-03.pdf.

Jäger E. J. (Hrsg.) 2017: Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband, 21. Aufl. – Spektrum, Heidelberg. X + 924 Seiten.

Jandt U., H. Bruelheide, F. Jansen, A. Bonn, V. Grescho, R. A. Klenke, F. M. Sabatini, M. Bernhardt-Römermann, V. Blüml, J. Dengler, M. Diekmann, I. Doerfler, U. Döring, S. Dullinger, S. Haider, T. Heinken, P. Horchler, G. Kuhn, M. Lindner, N. Müller, T. Naaf, C. Peppler-Lisbach, P. Poschlod, C. Roscher, G. Rosenthal, S. B. Rumpf, W. Schmidt, J. Schrautzer, A. Schwabe, P. Schwartze, T. Sperle, N. Stanik, C. Storm, W. Voigt, U. Wegener, K. Wesche, B. Wittig & M. Wulf 2022: More losses than gains during one century of plant biodiversity change in Germany. – Nature **611**, 512–518, London.

Kahmen S., P. Poschlod & K.-F. Schreiber 2002: Conservation management of calcareous grasslands. Changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. – Biolog. Conserv. **104**, 319–328, Amsterdam.

Koerner S. E., M. D. Smith, D. E. Burkepile, N. P. Hanan, M. L. Avolio, S. L. Collins, A. K. Knapp, N. P. Lemoine, E. J. Forrestel, S. Eby, D. I. Thompson, G. A. Aguado-Santacruz, J. P. Anderson, T. M. Anderson, A. Angassa, S. Bagchi, E. S. Bakker, G. Bastin, L. E. Baur, K. H. Beard, E. A. Beever, P. J. Bohlen, E. H. Boughton, D. Canestro, A. Cesa, E. Chaneton, J. Cheng, C. M. D'Antonio, C. Deleglise, F. Dembélé, J. Dorrough, D. J. Eldridge, B. F. Fernandez-Going, S. Fernández-Lugo, L. H. Fraser, B. Freedman, G. García-Salgado, J. R. Goheen, L. Guo, S. Husheer, M. Karembé, J. M. H. Knops, T. Kraaij, A. Kulmatiski, M.-M. Kytöviita, F. Lezama, G. Loucougaray, A. Loydi, D. G. Milchunas, S. J. Milton, J. W. Morgan, C. Moxham, K. C. Nehring, H. Olff, T. M. Palmer, S. Rebollo, C. Riginos, A. C. Risch, M. Rueda, M. Sankaran, T. Sasaki, K. A. Schoenecker, N. L. Schultz, M. Schütz, A. Schwabe, F. Siebert, C. Smit, K. A. Stahlheber, C. Storm, D. J. Strong, J. Su, Y. V. Tiruvaimozhi, C. Tyler, J. Val, M. L. Vandegehuchte, K. E. Veblen, L. T. Vermeire, D. Ward, J. Wu, T. P. Young, Q. Yu, & T. J. Zelikova 2018: Change in dominance determines herbivore effects on plant diversity. – Nature Ecol. Evol. **2**, 1925–1932, London.

Kollmann J. 1994: Ausbreitungsökologie endozoochorer Gehölzarten. Naturschutzorientierte Untersuchungen über die Rolle von Gehölzen bei der Erhaltung, Entwicklung und Vernetzung von Ökosystemen. – Proj. „Angew. Ökol." **9**, 1–212 & Anhang, Karlsruhe.

Kooijman M. & F. van der Meulen 1996: Grazing as a control against "grass-encroachment" in dry dune grasslands in the Netherlands. – Landscape Urban Plan. **34**, 323–333, Amsterdam.

Korneck D. 1974: Xerothermvegetation in Rheinland-Pfalz und Nachbargebieten. – Schriftenreihe Vegetationsk. **7**, 1–196, 157 Tabellen, Bonn-Bad Godesberg.

Kowarik I. 2003: Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. – Ulmer, Stuttgart. 380 Seiten.

Kratochwil A. & A. Schwabe 2001: Ökologie der Lebensgemeinschaften. – Ulmer, Stuttgart. 756 Seiten.

Krolupper N. & A. Schwabe 1998: Ökologische Untersuchungen im Darmstadt-Dieburger Sandgebiet (Südhessen): Allgemeines und Ergebnisse zum Diasporen-Reservoir und -Niederschlag. – Bot. Natursch. Hessen **10**, 9–39, Frankfurt am Main.

Lamoot I., J. Callebaut, E. Demeulenaere, C. Vandenberghe & M. Hoffmann 2005: Foraging behaviour of donkeys grazing in a coastal dune area in temperate climate conditions. – Applied Animal Behaviour Sci. **92**, 93–112, Amsterdam.

Mårtensson L. M., T. K. Schnoor & P. A. Olsson 2012: Allocation of carbon to mycorrhiza in the grasses *Koeleria glauca* and *Corynephorus canescens* in sandy grasslands. – Applied Soil Ecol. **54**, 55– 62, Amsterdam.

McCune B. & M. J. Mefford 2018: PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.08. – Wild Blueberry Media LLC, Corvallis, OR, USA.

Nehring S., I. Kowarik, W. Rabitsch & F. Essl (Hrsg.) 2013: Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. – BfN-Skripten **352**, 1–204, Bonn Bad Godesberg.

Oberdorfer E. unter Mitarbeit von A. Schwabe & T. Müller 2001: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete, 8. Aufl. – Ulmer, Stuttgart. 1051 Seiten.

Plassmann K., M. L. M. Jones & G. Edwards-Jones 2010: Effects of long-term grazing management on sand dune vegetation of high conservation interest. – Applied Veg. Sci. **13**, 100–112, Oxford.

Printzen C., W. von Brackel, H. Bültmann, R. Cezanne, C. Dolnik, P. Dornes, J. Eckstein, M. Eichler, V. John, D. Killmann, P. L. Nimis, V. Otte, U. Schiefelbein, M. Schultz, R. Stordeur, D. Teuber & H. Thüs 2022: Die Flechten, flechtenbewohnenden und flechtenähnlichen Pilze Deutschlands – eine überarbeitete Checkliste. – Herzogia **35**, 193–393, Halle.

Quinn M. A. & M. H. Hall 1996: Compensatory growth response of the legume, *Medicago sativa*, to defoliation and demodulation. – Entomol. Experimentalis Applicata **78**(3), 243–252, Hoboken.

Rosenthal G., J. Schrautzer, & C. Eichberg 2012: Low-intensity grazing with domestic herbivores: A tool for maintaining and restoring plant diversity in temperate Europe. – Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem., Neue Serie **32**, 167–205, Göttingen.

Schreiber K.-F., H.-J. Brauckmann, G. Broll, S. Krebs & P. Poschlod 2009: Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft. 35 Jahre Offenhaltungsversuche Baden-Württemberg. – Regionalkultur, Heidelberg. 420 Seiten.

Schurian K. & R. Klinger 2021: Lepidopterologische Beobachtungen auf der Griesheimer Düne bei Darmstadt. – Nachr. Entomolog. Ver. Apollo, Neue Folge **42**(4), 177–180, Frankfurt am Main.

Schwabe A., C. Eichberg, M. Stroh & C. Storm 2015: Gefährdete Sandvegetation der nördlichen Oberrheinebene: Vegetationsökologische Untersuchungen der Technischen Universität 1995–2013 im Landkreis Darmstadt-Dieburg und im Bereich der Stadt Darmstadt. – Braunschweiger Geobotan. Arb. **11**, 249–300, Braunschweig.

Schwabe A & A. Kratochwil 2022: Hochmontane Borstgrasrasen (Leontodonto-Nardetum) im Schwarzwald: Entstehung, Bewirtschaftung und Veränderungen der floristischen Struktur in den letzten 40 Jahren. –Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem. **42**, 201–244, Göttingen.

Schwabe A., A. Zehm, M. Nobis, C. Storm & K. Süß 2004: Auswirkungen von Schaf-Erstbeweidung auf die Vegetation primär basenreicher Sand-Ökosysteme. – NNA-Ber. **17**(1), 39–53, Schneverdingen.

Schwabe A., K. Süß & C. Storm 2013: What are the long-term effects of livestock grazing in steppic sandy grassland with high conservation value? Results from a 12-year field study. – Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem. **33**,189–212, Göttingen.

Spilger L. 1927: Die Pflanzenwelt des Bergsträßer Sandgebietes. – Notizblatt Ver. Erdk. Hess. Geolog. Landesanst. Darmstadt, **5**, 146–162, Darmstadt.

Starke-Ottich I., T. Gregor, U. Barth, K. Böger, D. Bönsel, R. Cezanne, A. Frede, K. Hemm, S. Hodvina, R. Kubosch, D. Mahn & M. Uebeler, unter Mitarbeit von G. Gottschlich, W. Jansen & H. Blatt 2019: Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens. 5. Fassung. – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) & Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden. 271 Seiten.

Storm C., R. Cezanne, M. Eichler & A. Schwabe 2019: Multi-stress-affected sandy grasslands: Livestock-grazing as a tool for nature conservation under the impact of drought events and rabbit population fluctuations? – Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem. **39**, 215–248, Göttingen.

Storm C., R. Cezanne, M. Eichler, M. Stroh, B. Weißmantel & A. Schwabe 2022: Restitution von Sandrasen auf ehemaligen Äckern durch Inokulation und Beweidung – eine 16jährige Modellstudie aus Südhessen. – Bot. Natursch. Hessen **34**, 67–114, Frankfurt am Main.

Storm C., C. Eichberg, M. Stroh & A. Schwabe 2016: Restoration of steppic sandy grassland using deep-sand deposition, inoculation with plant material and grazing: a 10-year study. – Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem. **36**, 143–166, Göttingen.

Storm C., I. Herget, J. Kappes & B. Vormwald 1998: Nährstoffökologische Untersuchungen im Darmstadt-Dieburger Sandgebiet in (teilweise ruderalisierten) Sandpionierfluren und -rasen. – Bot. Natursch. Hessen **10**, 41–85, Frankfurt am Main.

Süß K. & A. Schwabe 2007: Sheep versus donkey grazing or mixed treatment: results from a 4-year field experiment in Armerio-Festucetum trachyphyllae sand vegetation. – Phytocoenologia **37**, 135–160, Stuttgart.

Süß K. & A. Schwabe unter Mitarbeit von G. Rausch, H.-G. Fritz, H.-H. Ludewig, M. Stroh, R. Cezanne & M. Eichler 2011: Erfolge bei der Restitution von Sandlebensräumen im E+E-Vorhaben „Ried und Sand“: Vegetation und ausgewählte Indikator-Tierarten. – Natursch. Biolog. Vielfalt **110**, 179–214, Bonn-Bad Godesberg.

Süß K., C. Storm & A. Schwabe 2010: Sukzessionslinien in basenreicher offener Sandvegetation des Binnenlandes – Ergebnisse aus Untersuchungen von Dauerbeobachtungsflächen. – Tuexenia, Mitt. Florist.-Soziolog. Arbeitsgem., Neue Serie **30**, 289–318, Göttingen.

Süß K., C. Storm, A. Zehm & A. Schwabe 2004: Succession in inland sand ecosystems: which factors determine the occurrence of the tall grass species *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth and *Stipa capillata* L.? – Plant Biol. **6**, 465–476, Oxford & al.

Thiv M., A. Gerth & L. Meierott 2022: *Alyssum montanum* L. oder *A. gmelinii* Jord. & Fourr.? Der Komplex des Berg-Steinkrauts (*Brassicaceae*) in Süd- und Ostdeutschland. – Ber. Bayer. Botan. Gesellsch. **92**, 5–13, München.

Thompson K., J. Bakker & R. Bekker 1997: The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity. – Cambridge Univ., Cambridge. 276 Seiten, Diskette.

Volk O. H. 1931: Beiträge zur Ökologie der Sandvegetation der Oberrheinischen Tiefebene. – Zeitschr. Bot. **24**, 81–185, Jena.

Zehm A. & K. Zimmermann 2004: Sandgebiete in der hessischen Oberrheinebene: Untersuchungsflächen und Untersuchungsansatz des BMBF-Projektes „Sand-Ökosysteme im Binnenland“. – NNA-Ber. **17**(1), 69–77, Schneverdingen.

Tab. 3: Synoptische Tabelle der 5 × 2 Plots (alle Untersuchungsjahre) mit den Pearsonschen Korrelationskoeffizienten der linearen Regressionen; gelb unterlegt: signifikant (p < 0,05) negativer Trend; grün unterlegt: signifikant (p < 0,05) positiver Trend. Punkte: Art nie vorhanden. RL = Rote Listen von Hessen, siehe Kapitel 5. M = Moose, L = Flechten. – Synoptic table of the 5 × 2 plots (all years of investigation) with Pearson's correlation coefficients of the linear regressions; yellow background: significant (p < 0.05) negative trend, green background: significant (p < 0.05) positive trend. Points: species did never occur. RL = Red lists of Hesse, see Section 5. M = bryophytes, L = lichens.

RL	Spalte	I	I	II	II	III	III	IV	IV	V	V
	Plot-Bezeichnung	S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
	Bearbeitete Jahre 20..	00–22	00–22	00–22	00–22	00–22	00–22	00–14	00–14	00–13	00–13
	Zahl der untersuchten Vegetationsperioden	23	23	23	23	23	23	15	15	14	14
	Gesamtartenzahl	85	90	85	89	73	74	95	99	62	63
	Koelerio-Corynephoretea-Arten										
V	Myosotis stricta	−0,34	−0,29	−0,02	−0,73	−0,64	−0,48	−0,76	−0,56	.	.
V	Helichrysum arenarium	−0,56	−0,39	−0,75	0,12	−0,58	−0,30	−0,29	−0,37	.	.
	Saxifraga tridactylites	−0,54	−0,39	−0,24	−0,47	.	−0,26	−0,57	−0,47	.	.
	Potentilla argentea	0,03	0,47	−0,03	−0,54	−0,37	−0,07	−0,76	−0,31	−0,37	0,21
	Draba verna	−0,12	−0,38	−0,12	−0,70	−0,39	−0,07	−0,63	0,14	.	.
	Echium vulgare	−0,77	0,13	−0,29	−0,51	0,26	−0,25	−0,04	0,09	−0,06	−0,09
	Pilosella officinarum	0,35	−0,23	.	−0,43	.	.	−0,41	−0,61	0,17	.
	Petrorhagia prolifera	−0,61	−0,71	−0,40	−0,20	−0,19	−0,27	−0,09	−0,10	.	.
V	Vicia lathyroides	−0,17	−0,17	−0,12	0,03	0,26	−0,37	−0,75	−0,47	−0,17	−0,68
V	Corynephorus canescens	−0,48	−0,52	.	.	.	.	.	.	.	.
	Acinos arvensis	−0,79	−0,30	.	.	.	.	.	.	.	.
V	Alyssum alyssoides	0,00	−0,45	0,09	0,14	0,32	0,34	−0,51	−0,29	.	.
	Cerastium semidecandrum	−0,33	0,17	−0,21	−0,31	−0,16	0,09	−0,56	−0,22	.	.
	Erodium cicutarium	−0,47	0,02	−0,30	0,06	.	0,12	−0,18	0,00	.	.
	Medicago minima	0,27	0,10	−0,18	0,26	−0,06	0,20	−0,56	0,46	.	−0,17
	Myosotis ramosissima	−0,09	−0,30	−0,03	−0,01	−0,05	−0,51	0,22	−0,15	−0,12	−0,08
	Sedum acre	−0,49	.	−0,01	−0,10	−0,20	0,37	−0,08	0,34	.	−0,10
3	Silene conica	0,32	0,40	−0,13	.	−0,30	−0,43	.	−0,15	.	.
2	Koeleria glauca	−0,62	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	Phleum arenarium	.	0,54	0,22	.	.	.	.	.	.	.
	Vulpia myuros	0,35	0,73	.	0,31	0,19	0,35	0,46	0,12	.	.
	Arenaria serpyllifolia agg.	0,16	0,13	−0,08	−0,09	−0,26	0,25	0,38	−0,13	.	.
	Rumex acetosella s. l.	0,06	0,22	0,19	−0,30	0,29	−0,13	−0,10	−0,15	.	−0,04

	Plot-Bezeichnung		S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
	Trifolium campestre		.	0,35	.	.	0,06	−0,15	−0,32	−0,08	.	0,20
	Trifolium arvense		.	−0,32	−0,19	.	.	−0,31	.	−0,35	.	−0,20
3	Veronica verna		−0,17	0,33	.	−0,23	.	.	−0,23	.	.	.
	Agrostis vinealis		.	.	.	.	.	.	0,43	−0,35	0,35	0,48
2	Veronica praecox		0,22	.	−0,10	.	.	.	−0,19	.	.	.
	Poa bulbosa		−0,37	0,33	.	.	.	.	.	.	.	.
	Holosteum umbellatum		.	−0,07	.	.	.	.	.	.	.	.
3	Thymus serpyllum		.	.	.	.	.	.	.	0,00	.	.
	Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea-Arten											
	Centaurea stoebe subsp. australis/pro parte s. l.		−0,86	−0,55	−0,69	−0,63	−0,22	−0,06	−0,52	−0,68	.	.
	Tortella inclinata	M	−0,43	−0,44	−0,45	−0,34	.	.	0,54	−0,19	.	.
3	Cladonia rangiformis	L	−0,26	0,13	.	−0,01	0,66	−0,33	−0,85	−0,82	.	.
	Syntrichia ruralis var. ruraliforme	M	−0,73	0,87	−0,08	−0,45	−0,10	.	0,31	0,24	.	.
V	Abietinella abietina	M	−0,43	−0,33	.	.	.	.	0,25	−0,24	.	.
	Potentilla neumanniana		0,19	.	−0,26	.	.	.	0,05	0,37	.	0,51
V	Cetraria aculeata	L	0,29	−0,24	.	0,12	.	.	.	.	.	.
	Festuco-Brometea-Arten											
V	Stipa capillata		−0,91	−0,88	−0,84	−0,85	−0,53	−0,21	−0,96	−0,92	−0,63	.
	Ononis repens subsp. procurrens		−0,87	−0,69	−0,75	−0,53	−0,82	−0,81	.	.	−0,94	−0,35
	Euphorbia cyparissias		−0,22	−0,48	−0,26	−0,43	−0,71	−0,63	0,43	0,11	0,39	0,70
V	Silene otites		.	−0,65	−0,37	−0,59	−0,49	.	−0,56	0,04	.	.
2	Festuca albensis (= duvalii)		−0,49	0,33	−0,67	−0,56	.	−0,04	−0,19	0,31	.	.
	Phleum phleoides		0,20	−0,73	.	0,09	−0,49	−0,53	.	.	.	.
	Medicago falcata/M. × varia		.	−0,45	−0,42	0,88	0,66	0,80	−0,35	.	−0,24	.
	Koeleria macrantha		−0,15	.	−0,46	−0,44	.	0,75	.	.	.	.
	Salvia pratensis		.	.	−0,50	−0,67	.	.	.	.	.	.
	Helianthemum nummularium subsp. obscurum		−0,34	−0,71	.	.	.	.	0,52	0,33	0,00	.
V	Ajuga genevensis		.	.	.	.	.	.	0,56	0,19	.	.
	Carlina vulgaris		.	.	.	.	.	−0,19	−0,32	−0,27	.	.
	Asperula cynanchica		.	.	.	.	.	.	−0,42	−0,51	.	.
3	Rhytidium rugosum	M	.	.	.	.	.	.	0,31	0,43	.	.
3	Stipa pennata		.	−0,10	.	.	.	.	.	.	.	.
	Arabis hirsuta		.	.	.	.	.	.	0,05	.	.	.

Plot-Bezeichnung	S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
Agropyretea intermedio-repentis-Arten										
Calamagrostis epigejos	−0,46	−0,63	−0,17	−0,51	−0,65	−0,68	−0,72	−0,68	−0,73	−0,70
Poa angustifolia	0,37	−0,71	−0,05	−0,22	−0,24	−0,59	−0,62	−0,69	−0,56	−0,85
Diplotaxis tenuifolia	−0,69	.	−0,73	−0,26	−0,54	−0,27	−0,19	.	.	.
Elymus repens s. str.	−0,35	.	−0,21	−0,56	−0,54	.	.	−0,45	−0,71	−0,43
Carex hirta	0,78	−0,76	0,06	−0,54	−0,09	0,26	.	.	.	.
Rumex thyrsiflorus	0,35	−0,73	0,16	−0,46	0,73	0,41	−0,03	−0,45	0,21	0,31
Saponaria officinalis	0,02	.	.	.	0,18	−0,81	.	.	.	.
Cynodon dactylon	.	.	.	0,58	.	.	.	.	.	.
Poa compressa	.	.	.	.	.	.	0,73	.	.	.
Convolvulus arvensis	.	.	.	.	.	.	.	−0,22	−0,45	−0,12
Cerastium arvense s. str.	.	.	.	.	.	.	.	.	−0,52	−0,35
Chondrilla juncea	.	−0,03	.	.	.	0,19	.	.	.	.
Carex praecox	−0,35	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Artemisietea vulgaris-Arten										
Berteroa incana	.	−0,64	−0,47	−0,87	−0,33	−0,22	.	−0,26	−0,10	.
Tragopogon dubius	0,31	−0,61	0,35	−0,59	.	−0,17	0,06	−0,54	.	0,16
Carduus nutans s. str.	0,48	.	0,27	−0,34	0,11	−0,20	−0,61	−0,61	−0,31	.
Cynoglossum officinale	−0,23	−0,03	0,00	−0,37	−0,45	0,27	0,00	0,00	−0,56	−0,19
Linaria vulgaris	.	.	−0,42	.	.	.	.	.	.	.
Oenothera biennis-Gruppe	−0,58	0,07	0,07	0,25	−0,31	−0,17	−0,20	0,00	−0,05	0,39
Malva alcea	.	.	0,87	0,31	.	.	0,80	−0,25	.	0,10
Silene latifolia subsp. alba	.	.	.	0,28	0,80	.	0,59	0,35	.	−0,10
Anchusa officinalis	.	.	.	.	.	.	0,49	0,77	.	.
Galium aparine	.	.	.	−0,32	.	.	.	0,19	0,24	−0,30
Artemisia vulgaris s. l.	.	.	−0,22	.	.	.	.	.	.	.
Erigeron annuus s. l.	.	.	.	.	.	.	.	0,23	.	.
Urtica dioica	.	.	.	.	.	.	.	0,37	.	.
Stellarietea mediae-Arten										
Bromus tectorum	−0,42	0,21	−0,48	−0,45	−0,43	0,45	−0,61	−0,33	.	.
Senecio vernalis	−0,57	−0,61	−0,47	−0,31	.	−0,35	−0,58	−0,37	.	−0,17
Bromus hordeaceus s. l.	−0,24	0,48	−0,44	0,56	.	0,24	−0,31	−0,19	−0,20	−0,16
Arabidopsis thaliana	0,22	.	−0,09	−0,03	−0,03	0,28	0,43	−0,56	.	.

Plot-Bezeichnung	S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
Vicia hirsuta	.	.	0,44	.	.	.	.	.	0,55	.
Viola arvensis s. l.	.	.	0,03	.	0,59	0,54	0,19	0,23	.	−0,31
Anchusa arvensis	.	0,58	.	.	.	.	.	.	.	.
Fallopia convolvulus	0,00	.	0,07	.	−0,13	.	.	−0,32	0,55	0,05
Papaver dubium	0,35	−0,23	0,16	−0,18	−0,04	0,44	0,41	0,43	−0,17	.
Setaria viridis	0,20	0,09	.	−0,13	.	.	0,10	0,69	.	.
Erigeron canadensis	0,37	−0,10	−0,28	−0,27	−0,28	0,20	0,23	−0,05	0,20	−0,17
Veronica arvensis	0,13	−0,05	−0,11	−0,31	−0,13	0,11	−0,47	−0,19	−0,17	−0,30
Sisymbrium altissimum	−0,21	0,13	−0,22	−0,04	0,39	0,38	−0,04	0,00	.	−0,35
Bromus sterilis	.	−0,39	.	−0,29	.	0,39	0,06	0,14	−0,17	−0,20
Chenopodium striatiforme	0,22	−0,08	−0,14	.	−0,06	.	0,31	0,00	.	
Lactuca serriola	−0,22	.	.	0,32	−0,35	−0,29	−0,23	.	.	−0,17
Salsola tragus	−0,22	0,40	−0,23	−0,27	−0,13	0,26	.	.	.	.
Crepis tectorum	−0,35	−0,16	.	.	.	0,11	0,23	−0,31	.	.
Plantago arenaria	0,37	0,36	−0,24	−0,13	.	.	.	.	.	.
Apera spica-venti	−0,39	−0,35	.	.	.	.	.	0,43	.	.
Vicia villosa	.	0,00	.	0,13	.	−0,22	.	.	.	.
Capsella bursa-pastoris	.	.	.	.	−0,17	0,16	−0,19	.	.	.
Cerastium glomeratum	.	.	0,00	−0,03	.	.	.	.	.	.
Solanum nigrum	.	.	.	.	0,06	.	.	0,31	.	.
Amaranthus powellii	.	.	.	.	.	.	0,00	0,00	.	.
Chenopodium album	.	−0,03	.	.	.	.	.	.	.	.
Sonchus asper	.	−0,19	.	.	.	.	.	.	.	.
Lamium amplexicaule	.	.	0,32	.	.	.	.	.	.	.
Polygonum aviculare agg.	.	.	−0,25	.	.	.	.	.	.	.
Sisymbrium officinale	.	.	.	−0,16	.	.	.	.	.	.
Descurainia sophia	.	.	.	.	0,32	.	.	.	.	.
Solanum physalifolium	.	.	.	.	−0,23	.	.	.	.	.
Stellaria media	.	.	.	.	.	.	0,37	.	.	.
Molinio-Arrhenatheretea-Arten										
Achillea millefolium agg.	.	.	−0,49	.	.	.	−0,39	.	−0,69	0,39
Arrhenatherum elatius	.	−0,31	−0,31	−0,41	.	.	.	.	0,76	0,57
Helictotrichon pubescens	.	−0,42	−0,24	.	.	.	.	0,00	0,64	0,56

Plot-Bezeichnung	S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
Hypochaeris radicata	0,00	0,30	.	0,23	0,00	−0,26	−0,46	−0,54	.	0,24
Crepis capillaris	−0,04	0,26	0,17	0,77	−0,01	−0,05	0,40	0,19	0,12	0,10
Galium album agg.	.	.	.	.	0,06	−0,38	.	.	0,66	0,19
Taraxacum sect. Ruderalia	.	.	.	−0,35	−0,19	−0,35	−0,38	.	0,10	0,61
Dactylis glomerata s. str.	.	.	.	0,40	.	.	.	.	0,52	0,11
Plantago lanceolata	.	0,35	.	.	.	.	.	0,25	.	.
Trifolium dubium	.	.	.	.	.	0,10	.	.	.	.
Gehölze										
Prunus spinosa	.	.	.	.	.	.	0,85	0,33	0,48	−0,79
Quercus robur	.	−0,16	0,21	0,16	.	.	.	.	0,79	0,65
Corylus avellana	.	.	.	.	.	.	.	.	0,68	.
Crataegus monogyna agg.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,78	.
Euonymus europaeus	.	.	.	.	.	.	0,50	.	0,86	.
Rosa rubiginosa	.	.	.	.	.	.	.	.	0,57	.
Prunus serotina	.	.	−0,22	−0,19	.	.	.	.	.	0,20
Acer campestre	.	.	.	.	.	.	.	.	0,45	.
Acer platanoides	.	.	.	.	.	.	.	.	−0,04	.
Rosa canina	.	.	.	.	.	.	.	.	0,45	.
Prunus spec. juvenil	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−0,46
Quercus petraea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	−0,31
Sonstige einschl. Trifolio-Geranietea-Arten										
Asparagus officinalis	−0,73	−0,58	−0,80	−0,72	−0,77	−0,66	−0,68	−0,69	0,30	−0,45
Senecio jacobaea s. str.	−0,31	−0,49	.	−0,19	−0,43	−0,41	−0,56	−0,53	.	0,43
Festuca brevipila	.	.	−0,67	−0,64	−0,42	−0,52	−0,43	.	.	.
Verbascum phlomoides	−0,11	0,19	−0,42	−0,38	−0,46	−0,06	−0,37	−0,23	−0,19	0,02
Festuca rubra s. str.	.	−0,29	−0,32	−0,44	.	.	−0,28	−0,16	−0,14	−0,69
Agrimonia procera	.	.	−0,62	.	.	.	0,59	.	0,76	−0,19
Agrostis capillaris	.	.	.	.	.	.	.	.	0,75	−0,63
Ajuga reptans	.	.	.	.	.	.	.	−0,58	.	.
Turritis glabra	.	.	.	.	.	.	−0,62	−0,09	.	.
Vicia angustifolia s. l.	.	−0,30	.	−0,16	.	−0,19	.	−0,70	−0,43	−0,51
Brachypodium pinnatum	.	.	−0,54	.	.	.	.	.	.	.
Hypericum perforatum s. str.	.	−0,02	0,37	0,47	0,13	0,44	−0,39	−0,25	0,61	−0,20

	Plot-Bezeichnung		S2U	S2B	S3U	S3B	S4U	S4B	S1U	S1B	G1U	G1B
	Viola hirta		.	.	.	.	.	.	.	.	0,71	0,86
	Luzula campestris		.	.	.	.	.	.	0,00	0,27	0,71	0,80
	Campanula rapunculus		.	.	0,35	.	.	.	.	−0,14	.	0,61
	Vincetoxicum hirundinaria		.	.	0,58	.	.	.	.	.	.	.
3	Viola rupestris		.	.	.	.	.	.	0,62	0,36	.	.
	Crepis spec.		.	.	−0,32	−0,29	−0,29	.	.	.	.	.
	Geranium molle		.	−0,23	0,11	0,16	0,24	0,35	.	0,09	−0,31	.
	Taraxacum sect. Erythrosperma		.	−0,29	.	.	.	.	−0,19	−0,15	.	−0,50
	Securigera varia		.	.	.	.	.	.	0,06	−0,25	.	.
	Viola riviniana		.	.	.	.	.	.	−0,37	.	−0,09	.
	Equisetum arvense		.	.	.	−0,02	.	.	.	.	.	.
3	Ajuga chamaepitys		.	.	.	.	.	.	−0,14	.	.	.
	Thymus pulegioides s. str.		.	.	.	.	.	.	.	−0,14	.	.
	Galeopsis tetrahit		.	.	.	.	.	.	.	.	0,38	.
	Agrostis stolonifera		.	.	.	.	.	.	.	.	−0,03	.
	Brachypodium sylvaticum		.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,25
	Sonstige Flechten											
	Cladonia furcata	L	.	−0,68	.	−0,07	−0,63	.	0,69	−0,82	.	.
3	Peltigera rufescens	L	.	−0,81	.	−0,25	−0,53	.	.	.	.	.
	Cladonia pyxidata agg.	L	.	−0,44	.	.	−0,19	.	−0,31	0,03	.	.
	Cladonia rei	L	.	−0,19	−0,19	−0,12	−0,19	−0,16	0,00	−0,08	.	.
	Collema tenax	L	.	.	.	.	.	−0,10	−0,12	−0,23	.	.
V	Diploschistes muscorum	L	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
G	Agonimia vouauxii	L	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Sonstige Moose											
	Hypnum cupressiforme var. lacunosum	M	.	−0,82	0,07	0,20	0,42	0,21	−0,50	−0,66	0,00	0,60
	Brachythecium albicans	M	.	−0,51	−0,36	−0,24	0,33	.	.	0,24	−0,19	−0,17
	Plagiomnium affine	M	.	.	.	−0,26	.	.	.	.	−0,47	−0,62
	Bryum caespiticium	M	.	−0,31	−0,13	.	−0,02	−0,10	0,87	−0,14	.	.
	Tortella tortuosa	M	.	.	.	.	.	.	0,87	.	.	.
	Scleropodium purum	M	.	.	.	.	.	.	.	.	0,70	.
	Bryum argenteum	M	.	−0,40	.	−0,10	0,03	−0,16	0,28	−0,23	.	.
	Ceratodon purpureus	M	.	.	−0,08	0,29	0,29	.	.	−0,04	.	.

Tab. 4: Dauerfläche 5 (10 m²) mit Vegetation des Koelerion glaucae (Neigung 18 °, WSW). Deckungen in %, RL = Rote Listen Hessen, Herkunft Aufnahmen: siehe Kapitel 5. M = Moose, F = Flechten. – Permanent plot 5 (10 m²) with vegetation of Koelerion glaucae (inclination 18 °, WSW). Cover data in %. RL = Red lists of Hesse, origin of relevés: see Section 5. M = bryophytes, L = lichens.

RL	Jahr		1998	1999	2000	2003	2023
	Artenzahl		23	20	22	21	26
	Koelerio-Corynephoretea-Arten						
V	Corynephorus canescens		10	15	1	1	1
	Arenaria serpyllifolia agg.		0,1	0,1	0,1	.	0,1
	Cerastium semidecandrum		0,1	2	2	.	3
2	Koeleria glauca		2	2	1	.	0,1
V	Myosotis stricta		0,1	0,1	0,1	.	0,1
3	Thymus serpyllum		0,1	1	0,1	.	.
	Medicago minima		.	0,1	1	.	5
V	Helichrysum arenarium		.	.	0,1	0,2	.
	Erodium cicutarium		.	.	.	0,2	0,1
	Poa bulbosa		.	.	.	0,2	0,1
	Rumex acetosella s. l.		.	0,1	.	.	.
	Trifolium arvense		.	.	0,1	.	.
V	Bassia laniflora		.	.	.	.	5
V	Alyssum alyssoides		.	.	.	.	3
3	Phleum arenarium		.	.	.	.	0,1
	Saxifraga tridactylites		.	.	.	.	0,1
	Sedum acre		.	.	.	.	0,1
3	Silene conica		.	.	.	.	1
3	Veronica verna		.	.	.	.	0,1
	Vulpia myuros		.	.	.	.	2
	Koelerio-Corynephoretea/Festuco-Brometea-Arten						
	Syntrichia ruralis var. ruraliformis	M	70	50	15	60	25
	Cladonia rangiformis	L	0,1	0,1	.	1	.
V	Abietinella abietina	M	0,1	.	0,1	.	.
	Centaurea stoebe s. l.		.	0,1	0,1	.	.
	Festuco-Brometea-Arten						
	Ononis repens subsp. procurrens		1	1	2	1	.
2	Festuca albensis (= duvalii)		0,1	.	.	.	0,1
	Euphorbia cyparissias		.	.	.	0,2	1
V	Stipa capillata		.	.	.	1	.
	Agropyretea-/Artemisietea-Arten						
	Diplotaxis tenuifolia		0,1	.	0,1	0,2	.
	Berteroa incana		0,1	0,1	0,1	.	.
	Oenothera biennis-Gruppe		0,1	.	0,1	0,2	.
	Cynoglossum officinale		.	0,1	0,1	.	.
	Molinio-Arrhenatheretea-Arten						
	Crepis capillaris		.	.	.	.	0,1

		1998	1999	2000	2003	2023
Stellarietea mediae-Arten						
Bromus tectorum		1	15	25	3	1
Salsola tragus		0,1	.	0,1	5	.
Erigeron canadensis		0,1	0,1	0,1	.	.
Plantago arenaria		.	.	.	0,2	3
Corispermum leptopterum		0,1	.	.	.	.
Vicia villosa		.	0,1	.	.	.
Setaria viridis		.	.	.	1	.
Amaranthus blitoides		.	.	.	0,2	.
Chenopodium striatiforme		.	.	.	0,2	.
Bromus hordeaceus s. l.		.	.	.	.	0,1
Papaver dubium		.	.	.	.	0,1
Sonstige Phanerogamen						
Verbascum phlomoides		.	0,1	.	0,2	.
Asparagus officinalis		0,1	.	.	.	.
Vicia angustifolia s. l.		.	.	0,1	.	.
Festuca brevipila		.	.	.	0,2	.
Rumex thyrsiflorus		.	.	.	.	0,1
Sonstige Flechten						
Cladonia furcata s. l.	L	0,1	0,1	0,1	0,2	.
Cladonia subulata	L	0,1	.	.	.	.
Cladonia rei	L	0,1	.	.	.	.
Cladonia pyxidata agg.	L	.	0,1	.	.	.
Peltigera rufescens	L	.	.	.	0,2	.
Sonstige Moose						
Bryum caespiticium	M	0,1	.	.	.	0,1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanik und Naturschutz in Hessen

Jahr/Year: 2024

Band/Volume: 36

Autor(en)/Author(s): Schwabe [Kratochwil] Angelika, Cezanne Rainer, Eichler Marion, Storm Christian

Artikel/Article: Kontinuierliche Dauerflächen-Untersuchungen in beweideten und unbeweideten Sandrasen und ihren Gebüschstadien im Naturschutzgebiet „Griesheimer Düne und Eichwäldchen“ (Südhessen): floristisch-strukturelle Veränderungen in bis zu 23 Vegetationsperioden 119-163