

Justus-Liebig-Universität

Interdisziplinäres Forschungszentrum (IFZ)
Institut für Pflanzenökologie
Heinrich-Buff-Ring 26
35392 Gießen
Tel.: 0641 99 35301
Email: pflanzenoekologie@bio.uni-giessen.de



Ergebnisse des passiven Biomonitorings von 1998-2014 auf hessischen Dauerbeobachtungsflächen in extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen

Laufzeit

1998 - 2014

Projektleitung

Prof. Christoph Müller PhD

Projektbearbeitung

Dr. Gerald Moser

Auftraggeber

Fachzentrum Klimawandel Hessen
im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Projektbetreuung

Fachzentrum Klimawandel Hessen

Gießen, April 2017



Inhalt

Einleitung.....	1
Methoden.....	2
Ergebnisse	6
Diskussion.....	15
Schlussfolgerung	16
Literatur.....	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Dauerbeobachtungsflächen.....	1
Abbildung 2: Artenzahl und Pflanzenartendiversität der Dauerbeobachtungsflächen.....	6
Abbildung 3: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Art- und Aufnahmedaten der Dauerbeobachtungsfläche Linden P1	8
Abbildung 4: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Art- und Aufnahmedaten der Dauerbeobachtungsfläche Linden P2	9
Abbildung 5: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Art- und Aufnahmedaten der Dauerbeobachtungsfläche Linden P3	10
Abbildung 6: Deckungsanteile der drei häufigsten Arten in den Linden P1-Aufnahmen.....	11
Abbildung 7: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsflächen in Rothenburg, Spessart und Villmar	12
Abbildung 8: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsflächen am Standort Rhön	13
Abbildung 9: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsfläche in Biebesheim und eine entzerrte Korrespondenzanalyse (DCA) der Aufnahmen in Kohlgrund.....	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Topografische Lage und langjährige Mittelwerte der Lufttemperatur und des Jahresniederschlags an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen in Hessen.....	3
Tabelle 2: Aufnahmejahre der einzelnen Dauerbeobachtungsflächen	4

Einleitung

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) führt im Rahmen der landesweiten Umweltüberwachung kontinuierliche Messungen der Konzentration einer Vielzahl von potentiellen Schadstoffen in der Atmosphäre durch. Zur Beurteilung von Immissionswirkungen kann neben dem aktiven Biomonitoring über die standardisierte Exposition von Bioindikatorpflanzen auch ein passives Biomonitoring auf Dauerbeobachtungsflächen durchgeführt werden. Anhand einer regelmäßigen Analyse von Pflanzenmaterial von derselben Fläche lassen sich Veränderungen über die Zeit im Vorkommen und in der Konzentration von Schadstoffen in den Indikatorpflanzen feststellen. Vegetationskundliche Untersuchungen entlang des Beobachtungszeitraums können parallel mögliche Veränderungen in der Artenzusammensetzung, d. h. in der Anzahl von Arten, dem Vorkommen bestimmter Arten und der Häufigkeit einzelner Arten, aufzeigen. Neben dem Nachweis von chronischen Schadstoffanreicherungen bzw. einer Erfolgskontrolle von immissionsmindernden Maßnahmen kann eine solche Dauerbeobachtung von Flächen auch zur Ermittlung und Überwachung von Auswirkungen des sich ändernden Klimas auf die Vegetation terrestrischer Ökosysteme herangezogen werden.

Im Hinblick auf die für eine Schadstoffanalyse erforderliche regelmäßige Beprobung des pflanzlichen Aufwuchses bei möglichst geringer Störung der typischen Vegetationsdynamik sind extensiv genutzte Dauergrünlandstandorte besonders geeignet (z. B. Grünhage & Jäger, 1992). In solchen Ökosystemen sind die nutzungsbedingten direkten anthropogenen Eingriffe vergleichsweise gering und die notwendige Probenahme stellt keinen untypischen Eingriff in die spezifische Vegetationsdynamik dar. Das Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen wurde 1998 damit beauftragt, die auf der Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden im Rahmen des Schwerpunktes "Dauerbeobachtung" im Jahr 1997/98 begonnenen Arbeiten auf 6 weitere Standorte in Hessen auszuweiten. Dazu wurden in



Abbildung 1: Lage der Dauerbeobachtungsflächen in extensiv bewirtschaftetem Grünland in Hessen. Die im Text verwendeten Standortnamen sind fett gedruckt.

Zusammenarbeit mit dem HLNUG zunächst geeignete Grünlandflächen in ausgewählten Regionen zur Abdeckung der wichtigsten hessischen Naturräume festgelegt und als Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet (vgl. Abb. 1). Das Auswahlverfahren und die Einrichtung der DBF sind im Detail im Bericht von Hertstein et. al (1999) aufgeführt. In den Folgejahren wurde die Artenzusammensetzung der Vegetation auf diesen Flächen regelmäßig vegetationskundlich untersucht, Biomasse-Proben genommen und diese als Rückstellproben in die Probandatenbank (Justus-Liebig-Universität Gießen, Pflanzenökologie) eingelagert. Der vorliegende Bericht untersucht, ob sich innerhalb des 17-jährigen Zeitraums der Dauerbeobachtungen (1998 bis einschl. 2014) signifikante Änderungen in den Artengemeinschaften auf den Grünlandflächen ergeben haben und wenn ja, ob diese sich mit Änderungen der klimatischen Bedingungen in diesem Zeitraum oder anderen Faktoren wie Schadstoff-Immissionen erklären lassen.

Methoden

In den festgelegten Regionen sollten Flächen ausgewählt werden, die nach Möglichkeit die folgenden Kriterien erfüllen:

- freie Anströmbbarkeit (z. B. keine Waldflächen unmittelbar angrenzend)
- räumliche Nähe zu Luftmessstationen des HLNUG
- bisherige Nutzungsform "Mähwiese" (keine Weidenutzung)
- möglichst extensive Nutzung (max. 2 Schnitte pro Jahr, keine oder nur mäßige Stickstoff-Düngung in den vergangenen 3 bis 5 Jahren)
- Vorhandensein früherer vegetationskundlicher/floristischer Dokumentationen der Untersuchungsfläche selbst oder vergleichbarer Biotope in näherer Umgebung.

Höchste Priorität kam dabei den beiden erstgenannten Kriterien zu, wobei in den Regionen Arolsen, Rhön und Villmar die gewählten Standorte auch für neu einzurichtende Luftmessstationen geeignet sein sollten. Aufgrund von Geländebegehungen der Standorte im Zeitraum März bis Anfang Juni 1998 wurde eine Vorauswahl von potentiell geeigneten Flächen in den Regionen vorgenommen, soweit solche nicht unmittelbar bei existierenden Luftmessstationen vorhanden waren. Letzteres traf lediglich für die Standorte Linden – mit Vegetationsdaten zweier Flächen ab 1993 – und Lettgenbrunn/Spessart zu.

Als Dauerbeobachtungsflächen in der Rhön stellte dankenswerterweise Dr. Neff, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Hessisches Landwirtschaftszentrum Eichhof, Teilflächen eines bestehenden Forschungsprojekts zur Verfügung. Der seit fast 20 Jahren laufende Feldversuch untersucht die Auswirkungen einzelner Pflege- und Bewirtschaftungsmethoden auf die Vegetationsdynamik eines Borstgrasrasens und einer Goldhaferwiese auf dem Stirnberg bei Wüstensachsen, die in der extensiven Bewirtschaftung nur einmal jährlich gemäht werden.

Aufgrund der regional unterschiedlichen Art und Intensität der Landnutzung ergaben sich bei der Flächenauswahl in den übrigen Regionen teilweise erhebliche Probleme dabei, die

Auswahlkriterien zu erfüllen. Für den Standort Biebesheim musste eine Fläche herangezogen werden, die erst drei Jahre zuvor aus einer intensiven in eine extensive Bewirtschaftung überführt worden ist. Trotz vielfältiger Unterstützung bei der Flächenauswahl durch Eigentümer und Pächter konnten zeitaufwendige Abstimmungsprozesse nicht vermieden werden. Dem geschuldet erfolgte das Einmessen der Dauerbeobachtungsflächen z. T. erst im Spätherbst 1998 (Schmalwert/Biebesheim, Kohlgrund/Arolsen, Galgenberg/Villmar) bzw. im Frühjahr 1999 (Rothenburg/Fulda).

Die o. g. Auswahlkriterien wurden dennoch weitgehend erfüllt, die Koordinaten sowie der Jahresniederschlag und die Jahresmitteltemperatur sind in Tabelle 1 aufgelistet. Lediglich der Standort Kohlgrund/Arolsen stellt eine markante Ausnahme dar. Aufgrund der relativ hohen Intensität der Landnutzung in diesem Gebiet (vorwiegend Ackernutzung und Intensivweiden) und des Fehlens von extensivem Grünland wurde direkt bei der vom HLNUG neu eingerichteten Luftmessstation an der Windkraftanlage Dahlewind (Kohlgrund/Arolsen) die dort befindliche Grünlandfläche 1995/96 umgebrochen und eingezäunt, neu eingesät und aus der Bewirtschaftung genommen. Es handelt sich daher nicht um einen extensiv genutzten Dauergrünlandbestand, was bei der Bewirtschaftung der Fläche seither und der Interpretation von etwaigen dynamischen Veränderungen der Vegetation zu berücksichtigen ist.

Tabelle 1: Topografische Lage und langjährige Mittelwerte der Lufttemperatur und des Jahresniederschlags an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen in Hessen.

Standort	Rechtswert*	Hochwert*	Höhe (m über NN)	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
Linden	34778	55997	172	644 ¹⁾	9,1 ¹⁾
Schmalwert/ Biebesheim	34606	55174	88	599 ²⁾	9,9 ²⁾
Galgenberg/ Villmar	34443	55831	277	686 ³⁾	9,3 ³⁾
Lettgenbrunn/ Spessart	35289	55586	495	857 ⁴⁾	8,6 ⁴⁾
Stirnberg/ Rhön	35732	55946	840	1076 ⁵⁾	5,9 ⁵⁾
Rothenburg /Fulda	35529	56510	186	722 ⁶⁾	8,7 ⁶⁾
Kohlgrund /Arolsen	34950	56996	360	723 ⁷⁾	7,7 ⁷⁾

*¹⁾ Koordinate des Standortmittelpunkts

¹⁾ Daten aus Grünhage et al. (1996), Zeitraum 1961-1990

²⁾ Daten der Station Darmstadt des DWD, Zeitraum 1961-1990

³⁾ Daten der Station Limburg des DWD, Zeitraum 1961-1990

⁴⁾ Daten der Station Schlüchtern des DWD, Zeitraum 1961-1990

⁵⁾ Daten aus Arens & Neff (1997) für den Zeitraum 1980-1991

⁶⁾ Daten der Station Bad Hersfeld des DWD, Zeitraum 1961-1990

⁷⁾ Daten der Station Arolsen des DWD, Zeitraum 1951-1980

Die Dauerbeobachtungsflächen in Linden (2 von 3 Aufnahmeflächen wurden ab 1993 aufgenommen) wurden genauso wie die Flächen in Biebesheim, Kohlgrund, Rothenburg (je 1 Aufnahmefläche), Spessart (2 Aufnahmeflächen) und Villmar (2 Aufnahmeflächen) zweimal im Jahr vegetationskundlich untersucht, jeweils kurz vor der ersten Frühlingsmahd im Mai und der zweiten Sommermahd im August/September. Die Dauerbeobachtungsflächen auf dem

Stirnberg in der Rhön (6 Aufnahmeflächen) wurden nur im Juni jedes Jahres untersucht, da entsprechend der Höhenlage und Temperatur die Vegetationsentwicklung erst im Juni eine vollständige Pflanzenarten-Erfassung zulässt und diese Flächen nur einmal im Jahr geerntet werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Aufnahmejahre der einzelnen Dauerbeobachtungsflächen. Aufgeführt sind alle Standorte, an denen in ein oder mehreren Aufnahmeflächen die Vegetationsaufnahmen erhoben wurden, Laufzeit der Aufnahmereihe, eine (Juni) oder zwei Aufnahmen (Mai + Sep) pro Jahr.

Dauerbeobachtungsfläche	Aufnahmefläche	Laufzeit	Aufnahmen pro Jahr
Linden	P1	1993-2014	2
	P2	1993-2014	2
	P3	2002-2014	2
Biebesheim	-	1998-2014	2
Villmar	P1	1998-2014	2
	P2	1998-2014	2
Spessart	P1	1998-2014	2
	P2	1998-2014	2
Rhön	N1	1998-2014	1
	N2	1998-2014	1
	N3	1998-2014	1
	T1	1998-2014	1
	T2	2001-2014	1
Rothenburg	-	1998-2014	2
	-	1998-2014	2
Kohlgrund	-	1998-2014	2

Bei allen Aufnahmen wurden Biomasse-Proben für die Probandatenbank genommen, getrocknet, gewogen und eingelagert. Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Braun-Blanquet-Methode durchgeführt und die Deckungswerte als mittlere Deckungsprozente in Tabellenform ausgewertet. In Hertstein et al. (1999) finden sich die detaillierten vegetationskundlichen Beschreibungen der Flächen, die vegetationskundlichen Ausgangsdaten sind am Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen hinterlegt und können auf Anforderung gerne an Interessenten weitergegeben werden.

Die Artenzahl und die Diversität (Shannon-Index) wurden über die Datenreihen für alle Dauerbeobachtungsflächen ermittelt. Der Shannon-Index beschreibt die Vielfalt betrachteter Daten und berücksichtigt dabei sowohl die Artenzahl als auch die Häufigkeit der Individuen je Art. Ein Shannon-Index von 0 bedeutet nur eine Art kommt vor, ein artenreicher tropischer Tieflandregenwald kann den Wert 4,8 erreichen (Knight, 1975).

Unter Verwendung multivariater Statistik wurde für jede Dauerbeobachtungsfläche untersucht, ob eine gerichtete Veränderung der Artenzusammensetzung über den

Beobachtungszeitraum stattgefunden hat. Im ersten Schritt wurde die Variabilität des Artvorkommens aller Aufnahmen jeder einzelnen Dauerbeobachtungsfläche ermittelt und mit einer entzerrten Korrespondenzanalyse (detrended correspondence analysis (DCA)) analysiert. Dazu wird ein multidimensionaler Raum errechnet, der so viele Raumachsen hat wie Pflanzenarten vorkommen. Jede Art „spannt“ eine Achse auf. Die Achsen von Arten, die häufig gemeinsam in den Vegetationsaufnahmen vorkommen, zeigen in ähnliche Richtungen, während Artachsen von selten bis niemals gemeinsam vorkommenden Arten in entgegengesetzte Richtungen zeigen.

In diesen multidimensionalen Art-Raum werden die einzelnen Vegetationsaufnahmen der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte als Punkte projiziert. Die Position der Aufnahmepunkte wird dabei aus dem gewichteten Schwerpunkt der Arten, die darin enthalten sind, errechnet. Um es grafisch darstellen zu können, wird danach eine Ebene in den multidimensionalen Raum gelegt, auf der die Variation der Artverteilung möglichst gut zu sehen ist. Das heißt, in der entstehenden Grafik werden zwei Aufnahmepunkte deckungsgleich dargestellt, wenn diese exakt die gleichen Arten mit der exakt gleichen Arthäufigkeit enthalten. Umgekehrt werden Aufnahmepunkte ohne eine Überschneidung der enthaltenen Arten möglichst weit voneinander entfernt dargestellt. Abhängig von der Ähnlichkeit der Artzusammensetzung der analysierten Aufnahmen wird ein theoretischer Umwelt-Gradient (z. B. eine Kombination aus mittlerer Bodenfeuchte und Nährstoffverfügbarkeit) errechnet, der die Unterschiede im Vorkommen der Pflanzenarten verursacht. Wenn sich die Artzusammensetzung der analysierten Aufnahmen sehr stark ähnelt, ist dieser Gradient sehr kurz. Die Länge des Gradienten wird in Standardabweichungen des Artenwechsels (SD-Einheiten) skaliert. Ist die Distanz zwischen zwei Aufnahmepunkten größer oder gleich 4 SD-Einheiten, so haben diese in der Regel keine Arten mehr gemeinsam.

Bei den meisten Dauerbeobachtungsflächen war der Gradient kürzer als 3,5 SD-Einheiten und ein lineares Modell für das Artverhalten entlang des theoretischen Umweltgradienten (Hauptkomponentenanalyse – principal component analysis (PCA)) wurde zur weiteren Analyse gewählt. Nur bei der neu eingesäten Fläche in Kohlgrund mit längerem Gradient fand ein unimodales Modell des Artvorkommens (DCA) Verwendung. In den erzeugten Grafiken wurde die relative Ähnlichkeit/Unterschiedlichkeit zwischen allen Einzelaufnahmen über die 17 Jahre jeder einzelnen Dauerbeobachtungsfläche betrachtet, um zu sehen, ob sich der Abstand und damit die Unterschiedlichkeit zwischen der ersten Aufnahme und den darauffolgenden stetig vergrößert (gerichtete Änderung der Artzusammensetzung), oder ob es nur ein Pendeln um einen Mittelpunkt gibt (keine gerichtete Änderung der Artzusammensetzung).

Ergebnisse

Die Anfangsartenzahlen der 16 Aufnahmeflächen in den 7 Standorten lagen im Sommer 1998 zwischen 19 in Linden und 45 in der Rhön (Abb. 2A). Allerdings war die Artenzahl bei den meisten Flächen, die sowohl im Frühling als auch im Sommer aufgenommen wurden, in der Regel im Sommer um 5-10 Arten niedriger als im Frühling. Grundsätzlich weisen die sechs Aufnahmeflächen in der Rhön über den gesamten Beobachtungszeitraum höhere Artenzahlen (26-47) auf als die restlichen Flächen (6-36; Minimum 6 Arten auf zuvor kurzgemähter Wiese in Biebesheim). Es zeigt sich kein Trend entlang der Artenzahlen über den Verlauf der 17 Jahre.

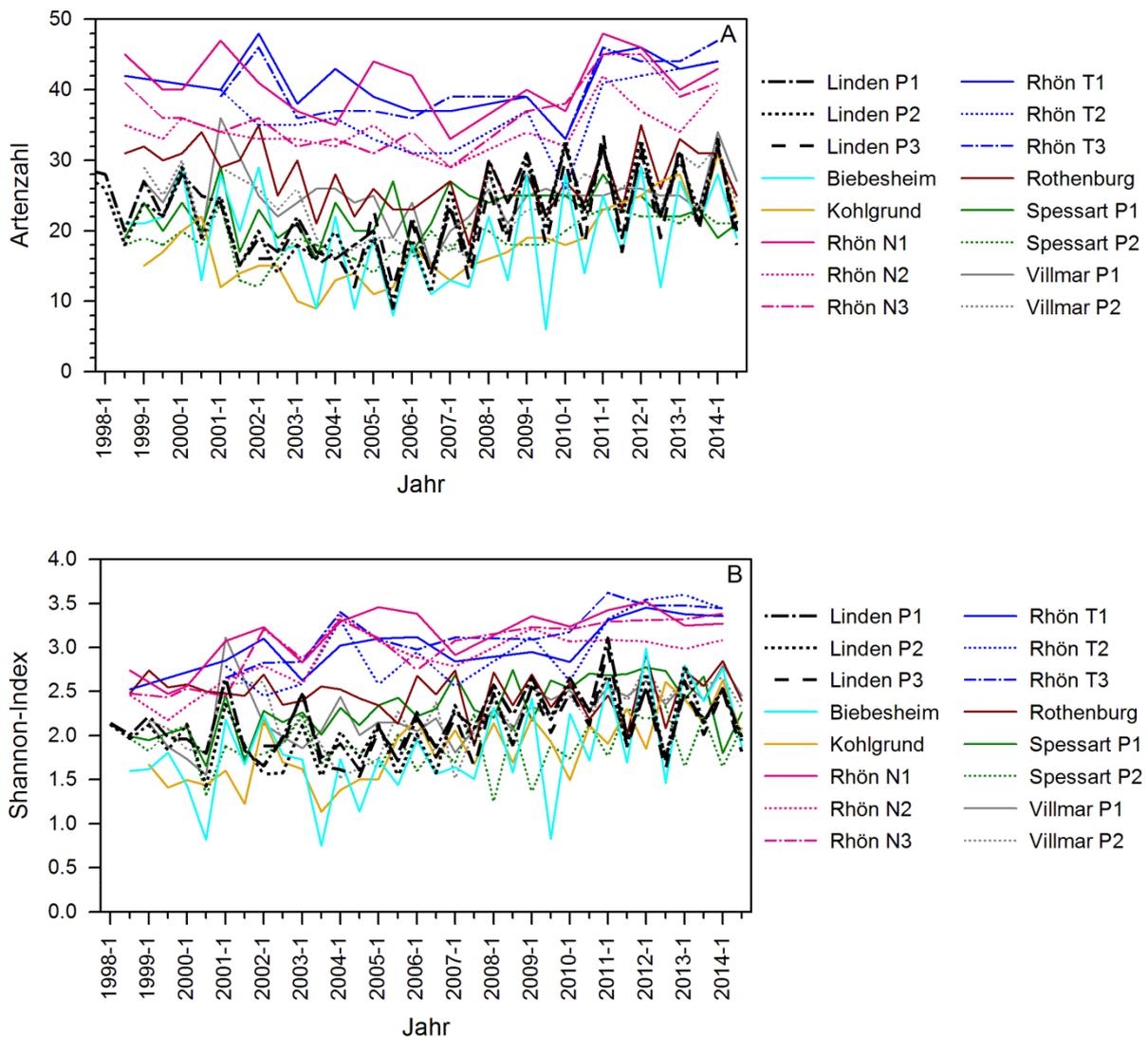


Abbildung 2: Artenzahl und Pflanzendiversität der 16 Dauerbeobachtungsflächen an 7 hessischen Standorten über den jeweiligen Beobachtungszeitraum. Artenzahlen (A) und Pflanzendiversitäten ausgedrückt durch den Shannon-Index (B). Die Flächen in der Rhön wurden nur einmal pro Jahr aufgenommen, so dass deren Verlauf keine saisonalen Unterschiede zeigt. Die 1 hinter der Jahreszahl steht für die erste Aufnahme im Jahr, die kurzen Teilstriche markieren die zweite Aufnahme des Jahres. (Laufzeit der Dauerbeobachtung pro Fläche siehe Tabelle 2).

Bei den meisten Flächen wurden zwischen den Jahren 2001 und 2007 (im Fall von Biebesheim bis 2010) etwas weniger Arten aufgenommen als in den Anfangsjahren (Abb. 2A). In den letzten Beobachtungsjahren hingegen lagen die Artenzahlen meist auf ähnlichem Niveau oder etwas über denen der Anfangsjahre. Ein Verlust von Arten der Roten Liste konnte nicht beobachtet werden.

Die Pflanzendiversität der Aufnahmeflächen, ausgedrückt als Shannon-Index, lag im Anfangsjahr 1998 zwischen 1,5 und 2,8 und spiegelt den Unterschied zwischen den artenreichen Aufnahmeflächen in der Rhön und den restlichen Flächen wider (Abb. 2B). Bei den Werten des Shannon-Index ist kein signifikantes Absinken zwischen 2001 und 2007 zu beobachten, sondern es zeigt sich bei allen Aufnahmen ein leichter Anstieg bis zum Ende des Zeitraumes, mit Ausnahme der Flächen im Spessart und Rothenburg mit einem konstanten Diversitätsniveau. Die Fläche in Biebesheim zeigt größere Diversitätsschwankungen auf, da zu einigen Aufnahme-Zeitpunkten nur eine kurzgemähte Wiese angetroffen wurde, auf der nur wenige Arten in bestimmbarem Zustand vorhanden waren. Die Anteile der funktionellen Gruppen an der Artmächtigkeit zeigen keinen generellen Trend und bleiben meist relativ konstant.

Bei der multivariaten Analyse der Artengemeinschaften zeigt die geringe Gradientenlänge der DCA in den Datensätzen der Artvorkommen aller Aufnahmeflächen (1,1-2,9) – ausgenommen Kohlgrund (4,2) – an, dass es über den Verlauf der 17 Jahre nur geringe Veränderungen der Artenzusammensetzungen und der Artmächtigkeiten gab. Diese beschränkten sich in der Regel auf sich ändernde Anteile an der Artmächtigkeit innerhalb der Artengemeinschaft und wurden nicht durch ein totales Verschwinden oder plötzliches Erscheinen (Einwandern) einzelner Arten hervorgerufen. Während manche Arten in bestimmten Jahren vorhanden waren, wurden sie in einzelnen oder auch mehreren Jahren nicht gefunden. Es ist wahrscheinlich, dass aufgrund der Phänologie dieser Arten die wenigen Aufnahmen pro Jahr (1-2) jeweils zu früh oder zu spät lagen, um alle Arten anzutreffen.

Die Hauptkomponentenanalysen der Linden-Aufnahmen zeigen keine gerichtete Änderung der Artenzusammensetzung, sondern ein Pendeln um den Mittelpunkt, bei dem die erste und letzte Aufnahme in der Regel nah beieinanderstehen und sich damit sehr ähnlich sind (Abb. 3 bis 5). Am Beispiel der Fläche Linden P1 ist zu sehen, dass der Wiesen-Storchschnabel (*Geranium pratense*) und das Weiße Labkraut (*Galium album*) die 1. Hauptachse aufspannen, während v. a. der Glatthafer (*Arrhenaterum elatius*) und das Wollige Honiggras (*Hol = *Holcus lanatus**) die 2. Hauptachse aufspannen. Die Variabilität in den Aufnahmen hängt stark von den Deckungsanteilen dieser Arten ab (Abb. 3A-B). Bekanntlich hängt der Anteil des Glatthafers von der Bodenfeuchte während der Wachstumsperiode ab und damit von der Witterung im betreffenden Teil der Vegetationsperiode. Am Beispiel der Fläche Linden P1 ist zu sehen, dass das Zentrum der Aufnahmewolke durch die Häufigkeit des Wiesen-Storchschnabels (*Geranium pratense*) bestimmt wird (Abb. 6A). Sinkt während und nach Trockenperioden der

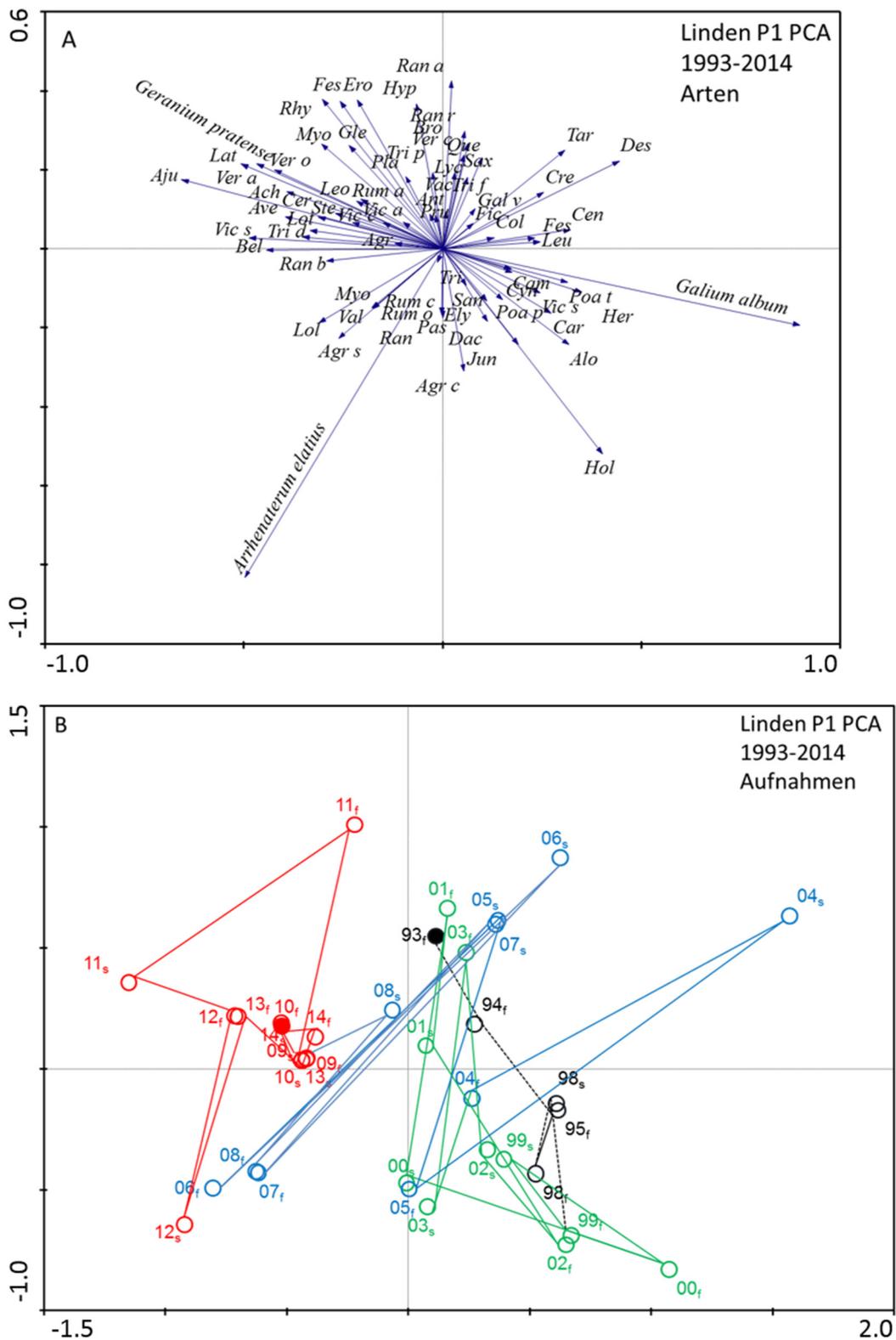


Abbildung 3: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Art- (A) und Aufnahmedaten (B) der Dauerbeobachtungsfläche Linden P1 von 1993-2014. Die wissenschaftlichen Artnamen wurden in der Regel auf 3-5 Zeichen gekürzt mit Ausnahme der drei häufigsten Arten, die die längsten Achsen aufspannen. Die Aufnahmepunkte sind mit verkürzter Jahreszahl und dem Zusatz f = Frühling oder s = Sommer sowie farblich gekennzeichnet und chronologisch miteinander verbunden; schwarz = 1993-1999, grün = 2000-2004, blau = 2005-2009, rot = 2010-2014.

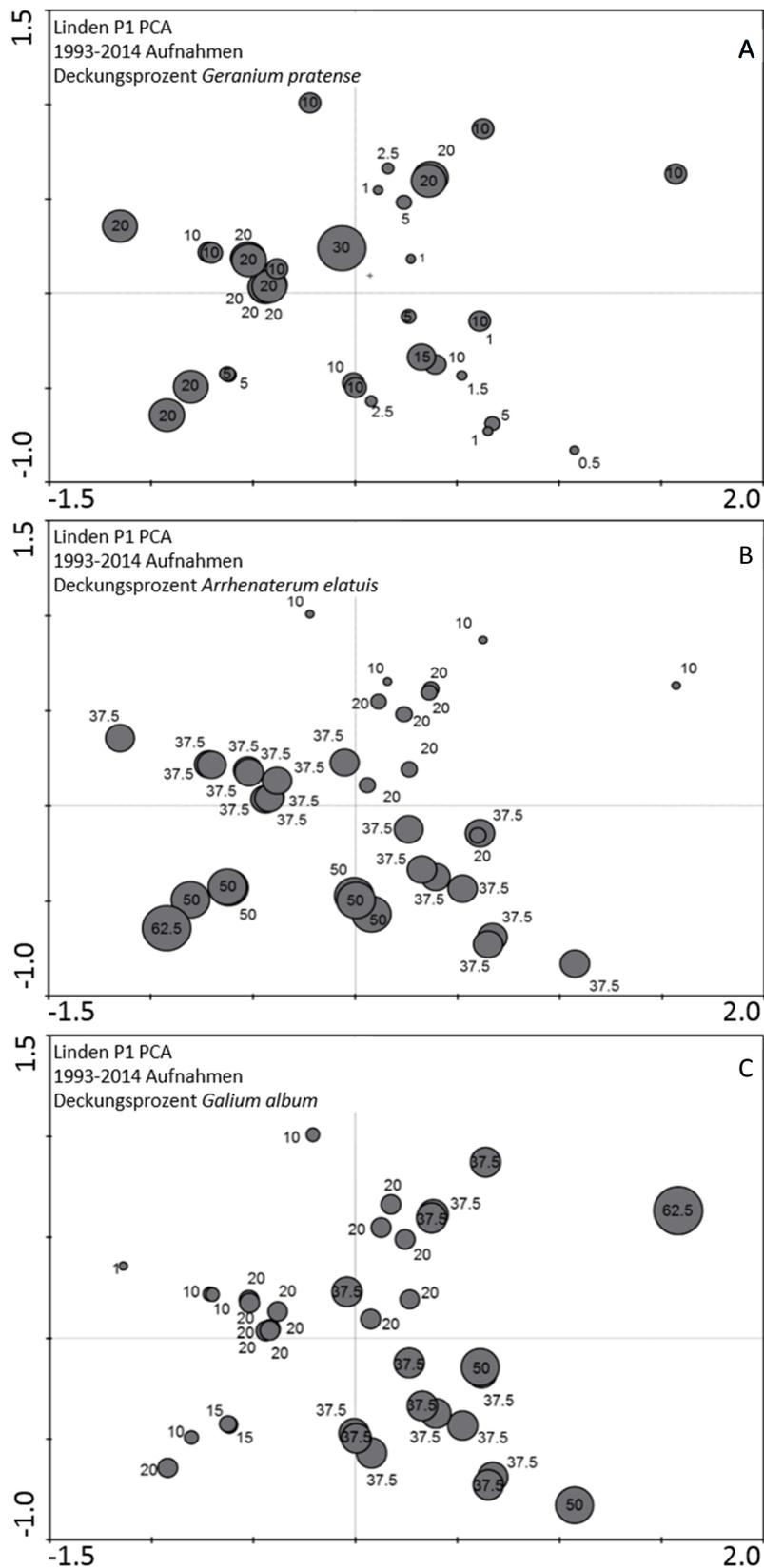


Abbildung 6: Deckungsanteile der drei häufigsten Arten in den Linden P1-Aufnahmen von 1993-2014. A) Anteil des Wiesenstorchschnabels (*Geranium pratense*), B) Anteil des Glatthaifers (*Arrhenaterum elatius*), C) Anteil des Weißen Labkrauts (*Galium album*). Die Deckungsprozente der Arten sind durch die Größe der Aufnahmepunkte und die Beschriftung ersichtlich.

Glattthafer-Deckungsanteil, wie in der Periode nach dem trockenen Jahr 2003 bis 2006, wird dieser vom Weißen Labkraut ausgeglichen, wie die Deckungsanteile der drei häufigsten Arten in den Vegetationsaufnahmen in Linden über den Beobachtungszeitraum zeigen (vergl. Abb. 3B und 6B-C).

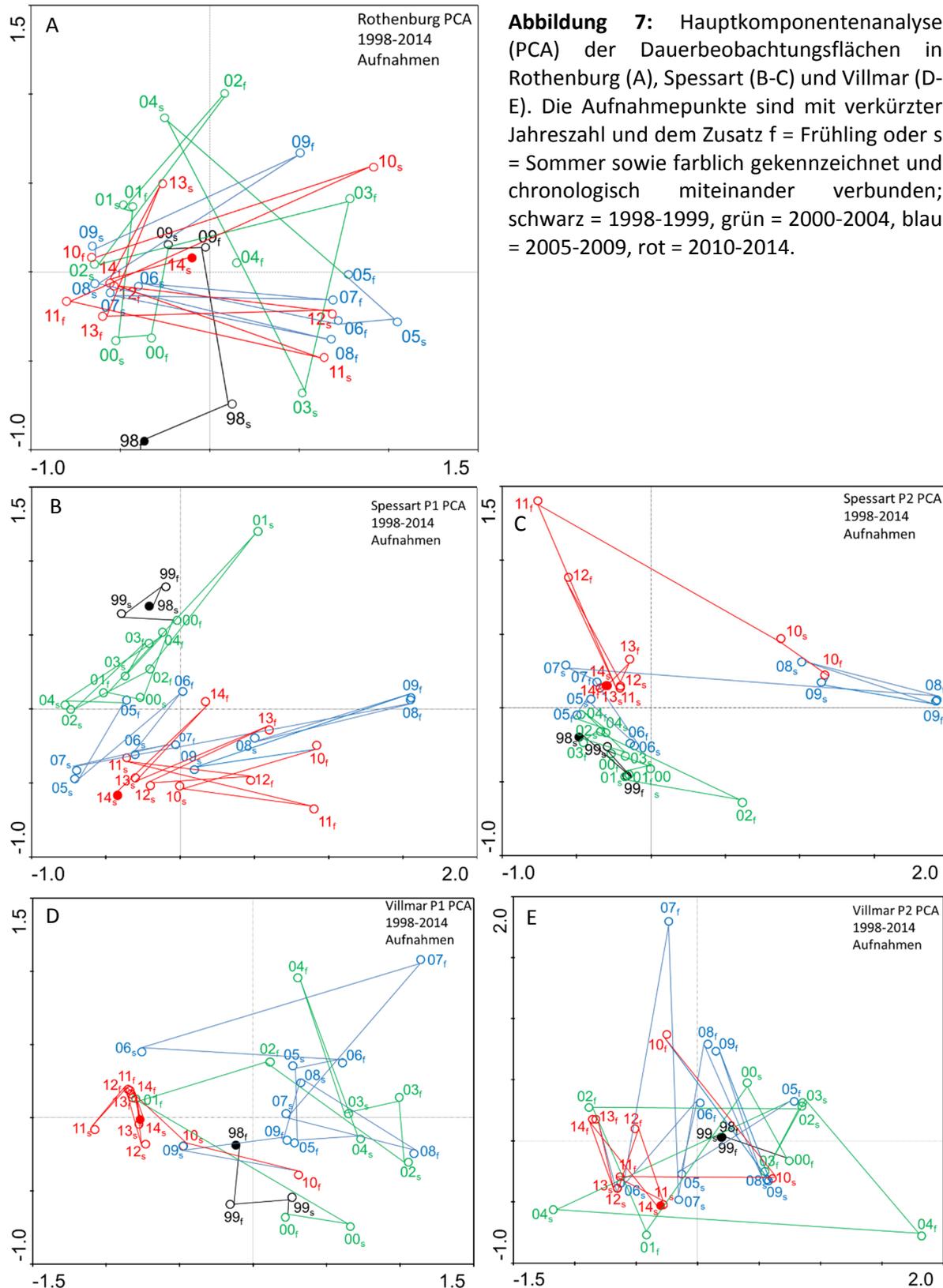


Abbildung 7: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsflächen in Rothenburg (A), Spessart (B-C) und Villmar (D-E). Die Aufnahmepunkte sind mit verkürzter Jahreszahl und dem Zusatz f = Frühling oder s = Sommer sowie farblich gekennzeichnet und chronologisch miteinander verbunden; schwarz = 1998-1999, grün = 2000-2004, blau = 2005-2009, rot = 2010-2014.

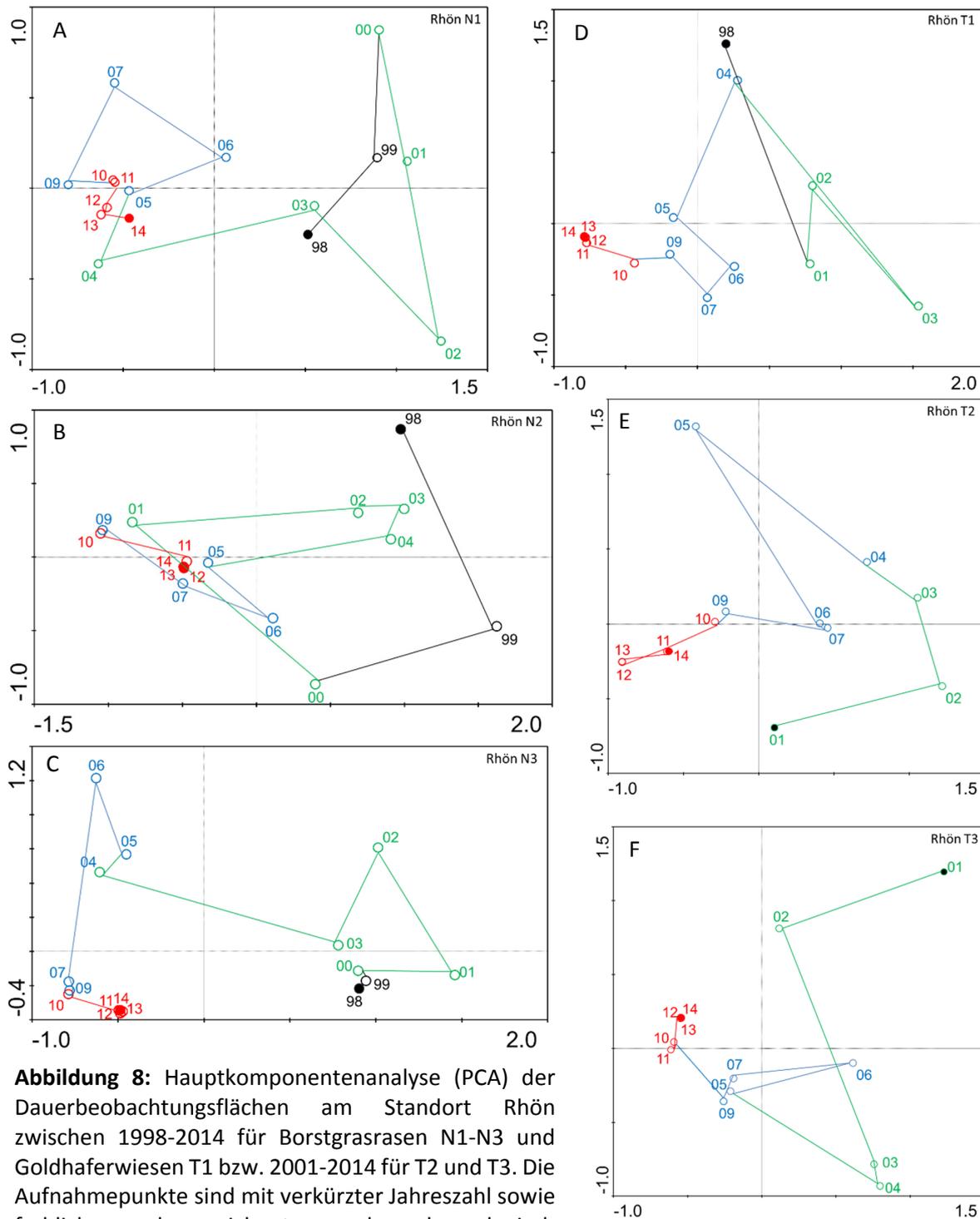


Abbildung 8: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsflächen am Standort Rhön zwischen 1998-2014 für Borstgrasrasen N1-N3 und Goldhaferwiesen T1 bzw. 2001-2014 für T2 und T3. Die Aufnahmepunkte sind mit verkürzter Jahreszahl sowie farblich gekennzeichnet und chronologisch miteinander verbunden; schwarz = 1998-1999, grün = 2000-2004, blau = 2005-2009, rot = 2010-2014.

Die Aufnahmeflächen in Rothenburg, Spessart und Villmar sowie in der Rhön zeigen ähnlich wie in Linden keinerlei gerichteten Artenwandel in der Hauptkomponentenanalyse (Abb. 7 und 8). Die Länge des Gradienten ist generell für alle Flächen sehr kurz und auch bei zwischenzeitlich größeren Abständen in der Artenzusammensetzung sind die Anfangs- und Endpunkte der Zeitreihen immer sehr nah beieinander. Ein anderes Bild erscheint in der

multivariaten Analyse der Vegetationsaufnahmen aus Biebesheim und Kohlgrund (Abb. 9). Zwar war die Variabilität des Datensatzes aus Biebesheim relativ gering und damit der Gradient in der DCA sehr kurz (1,6 SD), allerdings zeigt sich in der Hauptkomponentenanalyse ein mehr oder weniger gerichteter Artenwandel. In der Projektion der Aufnahmepunkte liegen die frühen Aufnahmen links, je später die Aufnahmen erstellt wurden, desto weiter rechts liegen sie.

Der Datensatz aus Kohlgrund zeigt hingegen einen deutlich längeren Gradienten (4,2 SD), ausgelöst durch eine größere Variabilität in der Artenzusammensetzung, so dass hier das einzige Mal nur die DCA durchgeführt wurde. Ähnlich wie in Biebesheim liegen die frühen Aufnahmen in der Projektion links und die späteren rechts. Im Kohlgrund kam es nicht nur zu einer Verschiebung der Artmächtigkeiten innerhalb der existierenden Artengemeinschaft, sondern zum Verschwinden bzw. Einwandern einzelner Pflanzenarten.

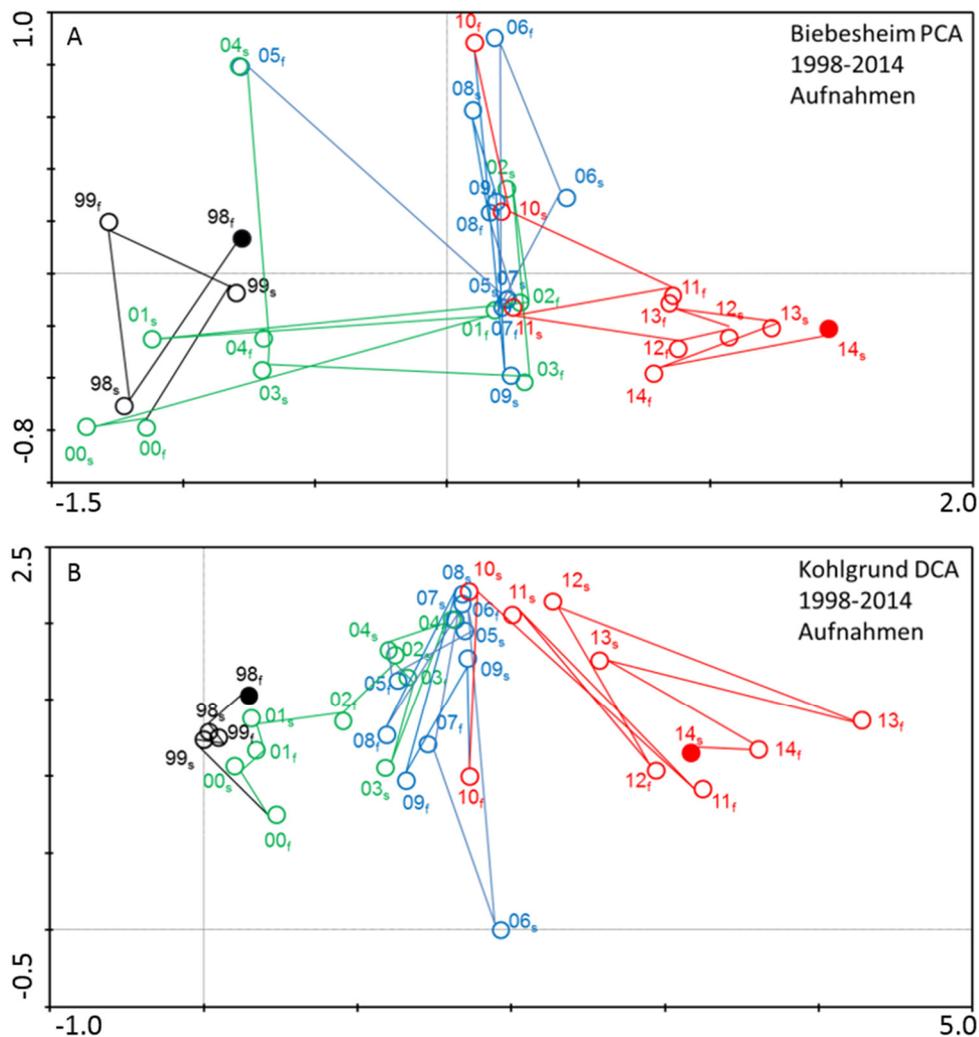


Abbildung 9: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Dauerbeobachtungsfläche in Biebesheim (A) und eine entzerrte Korrespondenzanalyse (DCA) der Aufnahmen in Kohlgrund (B). Die Aufnahmepunkte sind mit verkürzter Jahreszahl und dem Zusatz f = Frühling oder s = Sommer sowie farblich gekennzeichnet und chronologisch miteinander verbunden; schwarz = 1998-1999, grün = 2000-2004, blau = 2005-2009, rot = 2010-2014.

Auf beiden Flächen wurde wiederholt bei Aufnahmetermi-
nen festgestellt, dass sich die Bewirtschaftung deutlich von der der restlichen Dauerbeobachtungsflächen unterschied. Während in Biebesheim die Fläche mehrmals nur noch in abgemähtem Zustand aufgenommen werden konnte (da wahrscheinlich häufiger als zweimal jährlich gemäht wurde), war die eingezäunte Fläche in Kohlgrund teilweise komplett vernachlässigt und wurde in einem Jahr gar nicht gemäht. Diese beiden Flächen sind somit nur eingeschränkt mit den übrigen Flächen zu vergleichen.

Da es bisher keine Hinweise gab, dass Schadstoff-Immissionen einen direkten Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Dauerbeobachtungsflächen hatten, wurden die Biomasseproben nur in die Probandatenbank eingelagert, aber bisher nicht weiter chemisch analysiert.

Diskussion

In den langjährigen Datenreihen der Vegetationszusammensetzungen der Dauerbeobachtungsflächen Linden, Rothenburg, Spessart, Villmar und Rhön von 1998 bis 2014 konnten keine signifikanten Änderungen der Artenzusammensetzungen beobachtet werden, die über eine natürliche Variabilität der Artanteile an der Gesamtdeckung als Reaktion auf die herrschende Witterung während der Wachstumsperioden hinausgehen. Die kontinuierliche extensive Bewirtschaftung dieser Flächen führte zu stabilen Artengemeinschaften. Es konnte kein Hinweis dafür gefunden werden, dass klimatische Änderungen innerhalb des Untersuchungszeitraums oder Schadstoff-Immissionen eine signifikante Destabilisierung der Artengemeinschaften bewirkten und so zu einem Wandel in der Artenzusammensetzung geführt hätten. Einzelne Trockenperioden wie im Jahr 2003 führten zwar zu deutlichen Verschiebungen der Artmächtigkeiten innerhalb der existierenden Artengemeinschaften, diese konnten aber nach 2-3 Jahren wieder in den Ausgangszustand zurückkehren. Allerdings ist der 17-jährige Beobachtungszeitraum für nachweisbare bzw. signifikante Reaktionen der Artenzusammensetzung auf den Klimawandel wahrscheinlich noch zu kurz, da die Amplitude der klimatischen Änderungen in diesem Zeitraum vergleichsweise klein ist.

Die sich abzeichnenden Änderungen der Artengemeinschaft in den Dauerbeobachtungsflächen Kohlgrund und Biebesheim sind auf die geänderte Bewirtschaftung vor bzw. innerhalb des Beobachtungszeitraumes zurückzuführen. In Kohlgrund kommt es durch die zeitweise fehlende oder nur teilweise Mahd der Fläche zu einer Verwilderung des Grünlandes und der Einwanderung neuer Arten, während sich in Biebesheim vermutlich noch keine stabile Artengemeinschaft nach der Extensivierung in den 90er-Jahren eingestellt hat. In Biebesheim und teilweise auch in Rothenburg gab es Unstimmigkeiten bei der Absprache der Mahdzeitpunkte, so dass die vegetationskundlichen Aufnahmen mehrmals nur noch im kurz vorher gemähten Zustand durchgeführt und somit nicht alle vorhandenen Arten erfasst werden konnten.

Schlussfolgerung

Da der ausgewertete Zeitraum nur 17 Jahre umfasst und sich in diesem Zeitraum die klimatischen Bedingungen nur innerhalb geringer Amplituden geändert haben, können keine endgültigen Schlüsse über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Artenzusammensetzung der Dauerbeobachtungsflächen gezogen werden. Anhand der Ergebnisse scheint die Fortsetzung des passiven Biomonitorings auf den Dauerbeobachtungsflächen in Biebesheim und Kohlgrund nicht weiter sinnvoll. Beide Flächen sind durch ihre geänderte Bewirtschaftung nicht mit den anderen Flächen vergleichbar und lassen auch keine der Aufgabenstellung zuträglichen Aussagen zu. Alle anderen Dauerbeobachtungsflächen, einschließlich Linden, wiesen bisher keinen gerichteten Artenwandel auf. In Zukunft sollen die drei Dauerbeobachtungsflächen in Linden weiterhin zweimal jährlich vegetationskundlich erfasst und Rückstellproben in die Probandatenbank aufgenommen werden. Weiterhin wird empfohlen, die Beobachtungsreihen der anderen Standorte, speziell der Fläche in der Rhön, in größeren Intervallen als zweimal jährlich fortzuführen, z. B. angeglichen an die vom HLNUG u. a. auch auf diesen Flächen durchgeführte Boden-Dauerbeobachtung. So können ggf. zukünftig auftretende Änderungen der Artenzusammensetzung bei weiter fortschreitender Erwärmung und Niederschlagsverschiebung im Zuge des Klimawandels dokumentiert werden.

Literatur

- Arens R. & Neff R. (1997): Versuche zur Erhaltung von Extensivgrünland. *Angewandte Landschaftsökologie* 13, 1-176.
- Grünhage L. & Jäger H.-J. (Hrsg.) (1992) Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf ein Grünlandökosystem - Ergebnisse siebenjähriger Ökosystemforschung - Teil I. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 128*, 16-32.
- Grünhage L., Hanewald K., Jäger H.-J. & Ott W. (Hrsg.) (1996) Auswirkungen dynamischer Veränderungen der Luftzusammensetzung und des Klimas auf terrestrische Ökosysteme in Hessen. II. Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden. *Jahresbericht 1995. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz* 220, 1-191.
- Hertstein U., Grünhage L. & Jäger H.-J. (1999) Dauerbeobachtungsflächen für die landesweite Umweltüberwachung. *Arbeitsbericht Zeitraum März 1998 – Februar 1999*. <http://www.hlnug.de/themen/fachzentrum-klimawandel/publikationen.html>
- Knight D.H. (1975) A phytosociological analysis of species-rich tropical forest on Barro Colorado Island, Panama. *Ecological Monographs*, 45, 259-284.