

Steffen BOCH, Eric ALLAN, Klaus BIRKHOFFER, Oliver BOSSDORF, Nico BLÜTHGEN, Sabina CHRIST-BREULMANN, Tim DIEKÖTTER, Carsten F. DORMANN, Martin M. GOSSNER, Christine HALLMANN, Andreas HEMP, Norbert HÖLZEL, Kirsten JUNG, Valentin H. KLAUS, Alexandra M. KLEIN, Till KLEINEBECKER, Markus LANGE, Jörg MÜLLER, Heiko NACKE, Daniel PRATI, Swen C. RENNER, Christoph ROTHENWÖHRER, Peter SCHALL, Ernst-Detlef SCHULZE, Stephanie A. SOCHER, Teja TSCHARNTKE, Manfred TÜRKE, Christiane N. WEINER, Wolfgang W. WEISSER, Catrin WESTPHAL, Volkmar WOLTERS, Tesfaye WUBET und Markus FISCHER

Extensive und jährlich wechselnde Nutzungsintensität fördert den Artenreichtum im Grünland

Extensive and inter-annual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity

Zusammenfassung

Landnutzungsintensivierung ist einer der Hauptgründe des drastischen Rückgangs der Biodiversität im Grünland. Anhand eines umfangreichen Datensatzes von insgesamt 150 Grünland-Untersuchungsflächen aus den Biodiversitäts-Exploratorien untersuchten wir deshalb die Auswirkungen von Landnutzungsintensität und deren Veränderungen über die Jahre auf die Gesamtdiversität von bis zu 49 Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien umfassenden Artengruppen. Die Gesamtdiversität nahm mit ansteigender Landnutzungsintensität ab. Dieser Effekt war bei relativ seltenen Arten besonders stark, während relativ häufige Arten und unterirdisch lebende Arten weniger empfindlich reagierten. Zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität über die Jahre förderten die Gesamtdiversität und reduzierten den Verlust seltener Arten bei hoher Landnutzungsintensität. Neben einer Reduktion der Landnutzungsintensität empfehlen wir Veränderungen der Bewirtschaftungsintensität über die Zeit, besonders durch die Änderung der Beweidungsintensität, als wichtige Steuergröße zur Erhaltung der Gesamtdiversität.

Summary

Among the processes currently eroding biodiversity, land-use intensification is one of the most important. Using data from 150 grasslands, in three regions of Germany, we therefore tested for effects of land-use intensity and inter-annual variation in land-use intensity on biodiversity. To measure whole ecosystem biodiversity, we introduce a new metric of multidiversity, which incorporates the diversities of up to 49 taxonomic groups of plants, animals, fungi and bacteria. Multidiversity declined with increasing land-use intensity, particularly for rarer species and aboveground groups, while common species and below-ground species were less sensitive. However, high levels of inter-annual variation in land-use intensity increased overall multidiversity and slowed the rate at which the multidiversity of rarer species declined with increasing land-use intensity. In addition to decreasing mean land-use intensity, we suggest that varying land-use intensity across years, in particular varying grazing intensity over time, could be a novel strategy to reduce local biodiversity loss.

1. Einleitung

Landwirtschaftlich genutztes Grünland hat eine lange Nutzungsgeschichte und bietet Lebensraum für eine große Vielfalt verschiedener Pflanzen, Tiere und Pilze. Während der letzten Jahrzehnte jedoch führte vor allem die Notwendigkeit zur Produktivitätssteigerung und die damit einhergehende Landnutzungsintensivierung im Grünland zu einem drastischen Rückgang der Biodiversität (FOLEY et al. 2005; FLYNN et al. 2009), mit negativen Folgen für eine zukunftsorientierte und nachhaltige Agrarproduktion (ALLAN et al. 2015).

Etwa 13 % der Gesamtfläche Deutschlands werden als landwirtschaftliches Grünland genutzt (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015). Ein großer Anteil davon wird intensiv genutzt, oft gedüngt, bis zu sechs Mal pro Jahr gemäht oder mit einer hohen Bestockungsdichte beweidet. Nur ein kleiner Anteil des landwirtschaftlich genutzten Grünlands wird extensiv bewirtschaftet, das heißt, wenig oder gar nicht gedüngt, mit einer niedrigen Bestockungsdichte beweidet und/oder maximal zweimal pro Jahr gemäht. Generell gilt intensiv bewirtschaftetes Grün-

land als artenarm, während extensiv bewirtschaftetes Grünland eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten beherbergen kann.

Auf Landschaftsebene kommen unterschiedliche Landnutzungsformen nebeneinander vor. Die Landnutzungsintensität variiert jedoch auch zeitlich auf der gleichen Fläche: Landwirte ändern oft aus betrieblichen Gründen von Jahr zu Jahr die Bestockungsdichten, Düngermengen und Mahdfrequenzen. Es ist jedoch bislang ungeklärt, ob solche zeitlichen Veränderungen zu einer höheren Variabilität der lokalen Umweltbedingungen führen und temporäre Nischen schaffen und dadurch sogar zu einer höheren Biodiversität beitragen könnten. Auch könnten negative Auswirkungen von intensiver Landnutzung durch zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität gemildert werden. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob sich zeitliche Veränderungen der lokalen Landnutzungsintensität unterschiedlich auf seltene und häufige Arten sowie oberirdisch und unterirdisch lebende Artengruppen auswirken. Lokal häufige Arten sind von hoher Landnutzungsintensität meist weniger betroffen (MCKINNEY & LOCKWOOD 1999), während seltene Arten eher empfindlich reagieren, da sie auf bestimmte Kleinlebensräume spezialisiert sind oder in kleineren und instabileren Populationen vorkommen (FISCHER & STÖCKLIN 1997; LAVERGNE et al. 2005). Solche spezialisierten Arten sind daher stärker von der lokalen Bewirtschaftung und dem potenziellen Verlust spezifischer Ressourcen betroffen als Generalisten (WEINER et al. 2014). Des Weiteren kann die Landnutzungsintensität oberirdische und unterirdische Organismen unterschiedlich betreffen. Obwohl beide Gruppen miteinander verknüpft sind (DE DEYN & VAN DER PUTTEN 2005; MANNING et al. 2015), können die Landnutzungsintensität sowie deren Veränderungen stärkere Auswirkungen auf die oberirdische Vielfalt haben, während die Vielfalt von Bodenorganismen vermutlich eher von vorherrschenden Bodenbedingungen beeinflusst wird (BARDGETT et al. 2005).

Eine der größten Herausforderungen bei der Untersuchung von Landnutzungseffekten auf die Biodiversität ist, dass verschiedene Artengruppen entgegengesetzt oder unterschiedlich auf Änderungen der Landnutzungsintensität reagieren können (FLYNN et al. 2009; BLÜTHGEN et al. 2016). Folglich kann keine einzelne Artengruppe die Reaktion aller Organismen und damit der gesamten Biodiversität auf Landnutzung repräsentieren. Dies verdeutlicht die Bedeutung eines artengruppenübergreifenden Forschungsansatzes, um Rückschlüsse über den Effekt von Landnutzung auf die Gesamtdiversität zuzulassen.

Die Beziehung zwischen Landnutzung, Biodiversität und Ökosystemprozessen ist der Schwerpunkt eines langfristig angelegten Forschungsprogramms, der „Biodiversitäts-Exploratorien“ (FISCHER et al. 2010; www.biodiversity-exploratorien.de). In ihnen widmen sich seit nun 10 Jahren eine Vielzahl von Universitäten und Forschungseinrichtungen mit unterschiedlicher fachlicher Expertise der funktionellen Biodiversitätsfor-

schung. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden in drei Regionen Deutschlands durch vergleichende Beobachtungen und manipulative Experimente die Auswirkungen verschiedener Landnutzungsformen auf die Diversität verschiedener taxonomischer Organismengruppen untersucht und die Ergebnisse zusammengeführt.

Im hier vorliegenden Artikel möchten wir die Bedeutung eines Index zur integrativen Bewertung der lokalen Gesamtdiversität erklären („Multidiversity index“ nach ALLAN et al. 2014) und praktische Anwendungsbeispiele zum Erhalt der Gesamtdiversität in Grünländern geben. Der Gesamtdiversitäts-Index wird hier auf einen umfangreichen Datensatz aus den Biodiversitäts-Exploratorien angewendet. Mit ihm wird analysiert, wie Landnutzung die Diversität von 18 Artengruppen beeinflusst, die auf insgesamt 150 Grünland-Untersuchungsflächen erfasst wurden. In einem zweiten Schritt beleuchten wir die Effekte von Landnutzung auf die Diversität von 49 Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien umfassenden Artengruppen im Detail. Wir stellen außerdem vor, wie sich Veränderungen der Landnutzungsintensität über die Jahre auf die Gesamtdiversität, die ober- und unterirdische Diversität sowie die Artenzahl relativ häufiger und lokal relativ seltener Taxa auswirken.

2. Methoden

2.1 Untersuchungsflächen

Die Untersuchungen fanden auf 150 unterschiedlich bewirtschafteten Grünlandflächen statt, die sich in drei Regionen Deutschlands befinden. Sie sind Teil des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprogramms „Biodiversitäts-Exploratorien“. Die drei Regionen sind von Nord nach Süd: A) das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, B) der Nationalpark Hainich und die umgebende Hainich-Dün-Region und C) das Biosphärengebiet Schwäbische Alb (Abbildung 1). Sie decken den Nord-Süd-Gradienten Deutschlands in Klima, Geologie und Topografie ab. Die Jahresmitteltemperatur und -niederschläge reichen von 8,5 °C und 500 mm in der Region Schorfheide-Chorin bis 6,0 °C und 1.000 mm auf der Schwäbischen Alb. In allen Regionen gibt es eine große Vielfalt von extensiv (Abbildung 2) bis relativ intensiv (Abbildung 3) genutzten Grünländern. In jeder Region wurden für langfristige Untersuchungen jeweils 50 Flächen ausgewählt, die das Spektrum verschiedener Landnutzungsintensitäten repräsentieren. Auf all diesen Grünländern wurden jeweils 50 mal 50 m große Daueruntersuchungsflächen angelegt. Auf jeweils neun dieser Untersuchungsflächen in jedem Gebiet werden besonders arbeitsintensive und detaillierte Untersuchungen durchgeführt. Alle Untersuchungsflächen werden seit mindestens 20 Jahren vor Beginn des Projektes als Grünland genutzt (Details siehe FISCHER et al. 2010).

2.2 Quantifizierung der Landnutzungsintensität

Landnutzungsintensität ist keine einfach zu messende Größe. Bewirtschaftungsintensität von Grünland umfasst Unterschiede in der Düngung, Schnitthäufig-

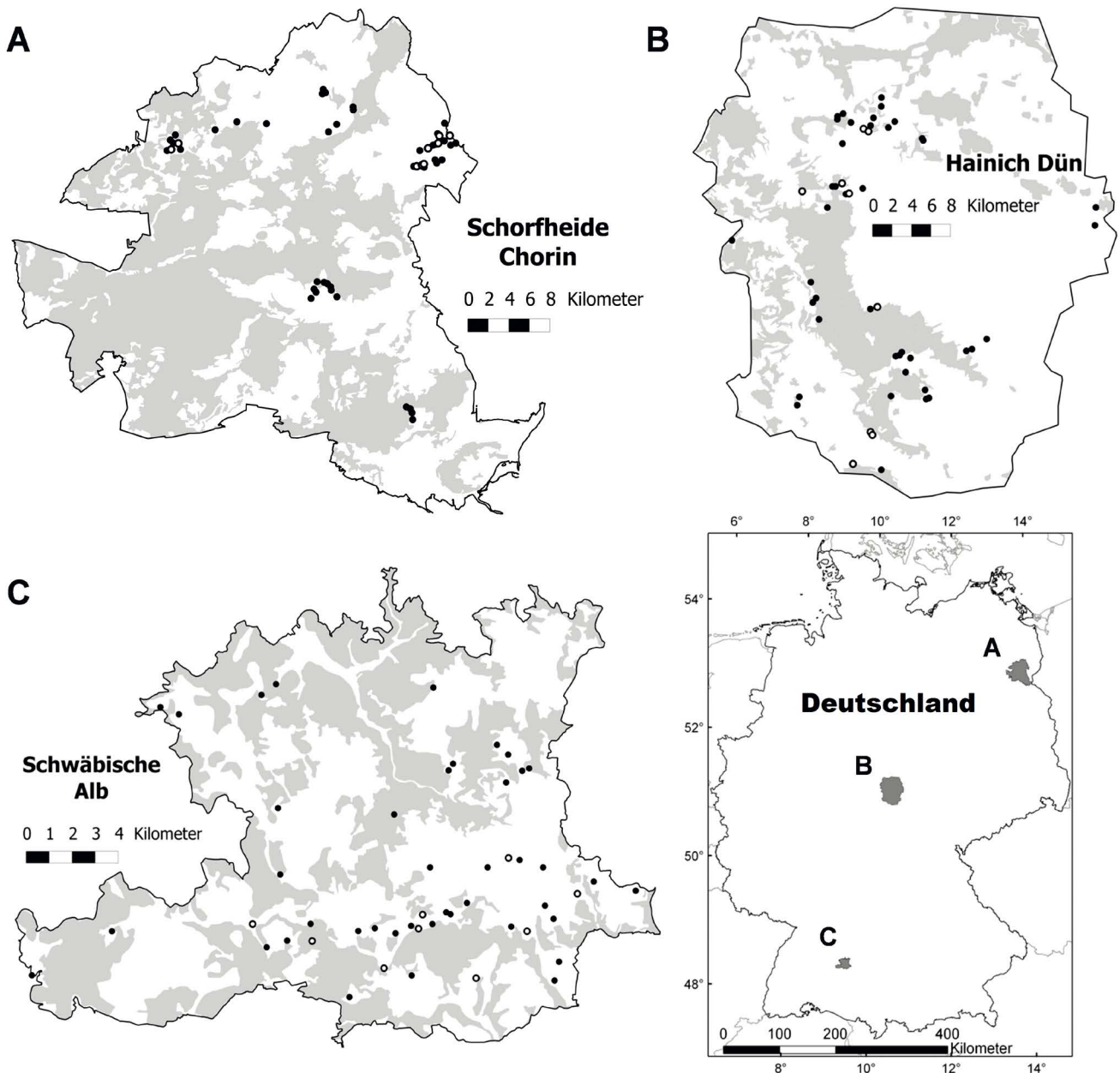


Abb. 1: Lage der drei Regionen Schorfheide-Chorin (A; Nordosten), Hainich-Dün (B; Mitte) und Schwäbische Alb (C; Südwesten) in Deutschland sowie detaillierte Karten der Regionen mit der Verteilung der 150 Untersuchungsflächen im Grünland. Offene Punkte zeigen die Lage der 27 besonders intensiv untersuchten Flächen. Waldgebiete sind in Hellgrau dargestellt.

Fig. 1: Location of the three study regions Schorfheide-Chorin (A; northeast), Hainich-Dün (B; centre) and Schwäbische Alb (C; southwest) in Germany and detailed maps indicating the distribution of the 150 plots among the study regions. Grassland plots are symbolized by dots, with forests marked by grey areas. Open dots show the distribution of the 27 plots which had been established for more labour-intensive measurements and a more complete sampling of the diversity of different taxa.

keit (Mahd) sowie Beweidungsdichte und -dauer. Von 2006 bis 2008 wurden alle Landwirte befragt, deren Flächen als Untersuchungsflächen dienen, um die Intensitäten ihrer Bewirtschaftung zu quantifizieren. Für jede Untersuchungsfläche wurden so jährlich die Weidetierart (Schaf, Rind, Pferd), Bestockungsdichte, Anzahl der Beweidungstage pro Jahr, Mahdhäufigkeit (1 bis 3 Schnitte pro Jahr) und Düngermenge (organisch und mineralisch; von 0 bis 163 kg Stickstoff pro ha und Jahr) ermittelt. Anhand dieser Daten wurde dann für jede Untersuchungsfläche ein kontinuierlicher Index zur

Landnutzungsintensität berechnet (BLÜTHGEN et al. 2012). Dieser Index fasst die unterschiedlichen Nutzungskomponenten zusammen, indem er die Intensitäten von Düngung (D), Beweidung (B) und Mahd (M) zu einem kontinuierlichen Wert pro Untersuchungsfläche aufsummiert. Hierzu wird zunächst die Anzahl der Weidetiere in Großvieheinheiten (GV) umgerechnet, gewichtet nach der Auswirkung auf Grünländer (Rind jünger als 1 Jahr: 0,3 GV; Rind 2 Jahre: 0,6 GV; Rind älter als 2 Jahre: 1 GV; Schaf jünger als 1 Jahr: 0,05 GV; Schaf älter als 1 Jahr: 0,1 GV; Pferd jünger als 3 Jahre: 0,7 GV, Pferd älter als

3 Jahre: 1,1 GV). Der Beitrag organischen Düngers in kg Stickstoff pro ha wurde über das Volumen von Rindergülle (3,2 kg Stickstoff pro m³) und Rindermist (0,6 kg Stickstoff pro m³) berechnet. Die lokale Landnutzungs-

intensität für jede Untersuchungsfläche wurde anschließend aus den Intensitäten der drei Landnutzungs-komponenten in Bezug zu ihrem Mittelwert über alle Regionen und Jahre standardisiert ($D_{G2006-2008} = 23$ kg Stickstoff pro ha und Jahr, $B_{G2006-2008} = 129$ Beweidungstage, entsprechend der Beweidung durch ein mindestens zwei Jahre altes Rind pro ha für 129 Tage; $M_{G2006-2008} = 1$ Mahd pro Jahr), dann aufsummiert und Quadratwurzel transformiert:

$$LUI = \sqrt{\frac{D}{D_{G2006-2008}} + \frac{B}{B_{G2006-2008}} + \frac{M}{M_{G2006-2008}}}$$

Die Wurzeltransformation führt zu gleichmäßig verteilten Werten und reduziert den Effekt von besonders hohen oder tiefen Werten der Landnutzung auf einzelnen Flächen. Zusätzlich zum aufsummierten Landnutzungsintensitäts-Index (bei dem allen drei Komponenten die gleiche Bedeutung zugewiesen wird) wurden auch die einzelnen Komponenten der Landnutzung (Düngung, Beweidung, Mahd) verwendet, um ihren Einfluss auf die biologische Vielfalt zu untersuchen. Die Intensität der Landnutzung auf den Untersuchungsflächen veränderte sich zwischen den Jahren zum Teil erheblich (BLÜTHGEN et al. 2012). Diese Veränderungen wurden mittels der Standardabweichung der Landnutzungsintensität über die drei Untersuchungsjahre quantifiziert und ebenfalls in die Untersuchung des Landnutzungseffekts einbezogen.

2.3 Erfassung der lokalen Artenvielfalt und Ableitung der Gesamtdiversität

Auf allen 150 Untersuchungsflächen wurde mit verschiedenen standardisierten Aufnahmemethoden die Diversität von 18 Artengruppen (Taxa) erfasst. Ergänzend wurde auf 27 der 150 Untersuchungsflächen eine Vielzahl zusätzlicher Artengruppen untersucht, für die arbeitsintensivere Methoden notwendig waren. Hierbei handelt es sich vor allem um Bakterien und Pilze, die mit molekular-genetischen Methoden definierte Taxa darstellen, sogenannte operationelle taxonomische Gruppen. Der Einfachheit halber benutzen wir im Nachfolgenden den Begriff „Artenreichtum“ auch für diese Gruppen,



Abb. 2: Extensive, ungedüngte Schafweide mit Klimastation und Installationen zur Erfassung der Diversität oder von manipulativen Experimenten auf der Schwäbischen Alb (Foto: Steffen Boch).

Fig. 2: Low intensive, unfertilized sheep-grazed pasture with a weather station and installations for diversity monitoring and manipulative experiments in the Schwäbische Alb region.



Abb. 3: Intensive, häufig gemähte und stark gedüngte Wiese in der Hainich-Dün-Region (Foto: Christoph Rothenwöhrer).

Fig. 3: Intensive meadow in the Hainich-Dün region, which is frequently mown and heavily fertilized.

obwohl es sich nicht um Arten im klassischen Sinne handelt (Details zur Aufnahmemethodik aller Artengruppen siehe ALLAN et al. 2014).

Zur Quantifizierung der Gesamtdiversität eines Ökosystems wurde ein Index entwickelt, der verschiedene taxonomische Artengruppen gleich gewichtet. Hierzu wurde zunächst für jede Artengruppe eine standardisierte Artenvielfalt berechnet, indem die Vielfalt einer Untersuchungsfläche durch die beobachtete maximale Artenvielfalt der entsprechenden Artengruppe geteilt wurde. Die artenreichste Fläche erhält somit einen standardisierten Artenreichtum von Eins. Für die Gesamtdiversität wurden dann die Werte des standardisierten Artenreichtums einer Untersuchungsfläche über alle Artengruppen gemittelt. Durch diese Berechnung wurde vermieden, dass die Gesamtdiversität von einer Artengruppe dominiert wurde, die besonders divers ist (zum Beispiel Bakteriengruppen mit mehreren Tausend „Arten“) oder die besonders vollständig erfasst wurde. Der Code zur Berechnung der Gesamtdiversität, der unterschiedliche Formen der Standardisierung und Gewichtungen der Artengruppen erlaubt, ist unter www.github.com/eric-allan/multidiversity verfügbar.

Neben der Gesamtdiversität über alle 18 Artengruppen berechneten wir den Index auch separat für Pflanzen (sechs Gruppen inklusive der Flechten) und Tiere (11 Gruppen). Auf den 27 besonders intensiv untersuchten Flächen berechneten wir zusätzlich die Gesamtdiversität der 17 ober- und 33 unterirdisch vorkommenden Artengruppen separat. Zusätzlich unterschieden wir für jede Artengruppe die lokal seltenen und häufigen Arten: Die 10 % der Arten mit der höchsten Stetigkeit über alle Untersuchungsflächen wurden als häufig, alle anderen Arten als selten eingestuft (nicht mit gefährdeten Arten gleichzusetzen; für Details zu dieser Einteilung siehe ALLAN et al. 2014). Danach errechneten wir die Gesamtdiversität separat für seltene und häufige Arten.

2.4 Statistische Auswertung

Zur Berechnung der Effekte der Landnutzungsintensität auf die Gesamtdiversität verwendeten wir eine Serie statistischer Modelle, in denen wir den Einfluss der mittleren Landnutzungsintensität sowie deren Standardabweichung (Variabilität) auf die Gesamtdiversität testeten. Da Zusammenhänge zwischen Landnutzung und Biodiversität auch nicht linear sein können, testeten wir sowohl lineare als auch quadratische und kubische Modelle sowie nicht lineare Modelle mit exponentieller und asymptotisch-exponentieller Beziehung der Artenvielfalt zur Landnutzungsintensität. Wir korrigierten in allen Modellen für die statistischen Haupteffekte der Untersuchungsregionen, um regionale Diversitätsunterschiede herauszurechnen. Dieselbe Folge statistischer Modelle rechneten wir auch für jede einzelne Artengruppe, für seltene und häufige Arten sowie oberirdisch und

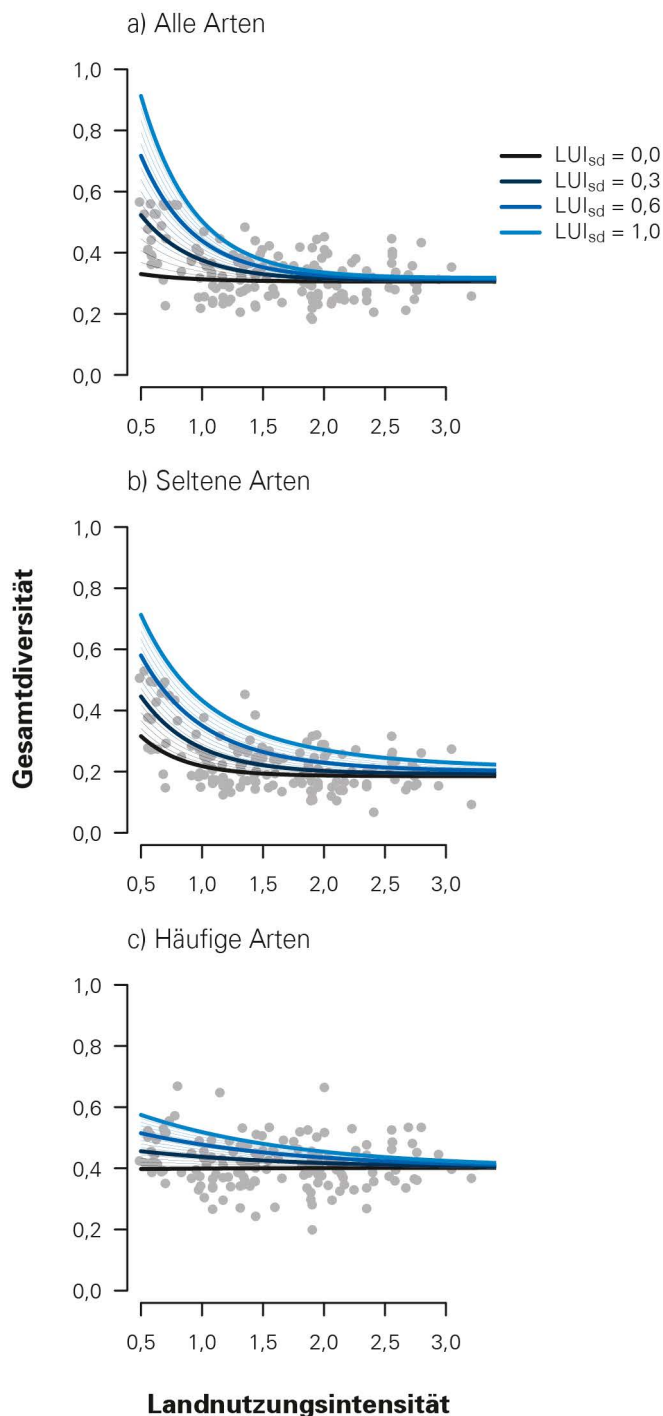


Abb. 4: Effekt der Landnutzungsintensität auf die Gesamtdiversität der 18 Artengruppen für a) alle Arten, b) nur relativ seltene Arten (90 % der Arten mit der niedrigsten Stetigkeit) und c) nur relativ häufige Arten (10 % der Arten mit der höchsten Stetigkeit). Die Linien verdeutlichen die Reaktion der Gesamtdiversität auf Landnutzungsintensivierung, bei unterschiedlich hohen zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität (LUIsd), von konstanter Landnutzungsintensität (LUIsd = 0) bis zur höchsten in den Untersuchungsflächen gemessenen Variabilität (LUIsd = 1; Abbildung verändert nach ALLAN et al. 2014).

Fig. 4: Effect of land-use intensity on multidiversity of 18 taxonomic groups of a) all species, b) relatively rare species (i.e., the 90 % of species with the lowest total abundance), and c) relatively common species (i.e., the 10 % of species with the highest total abundance across plots). Lines show model fits for temporal changes in land-use intensity, from LUIsd = 0 to the maximum interannual land-use change observed in any plot, LUIsd = 1. Figure modified after ALLAN et al. (2014).

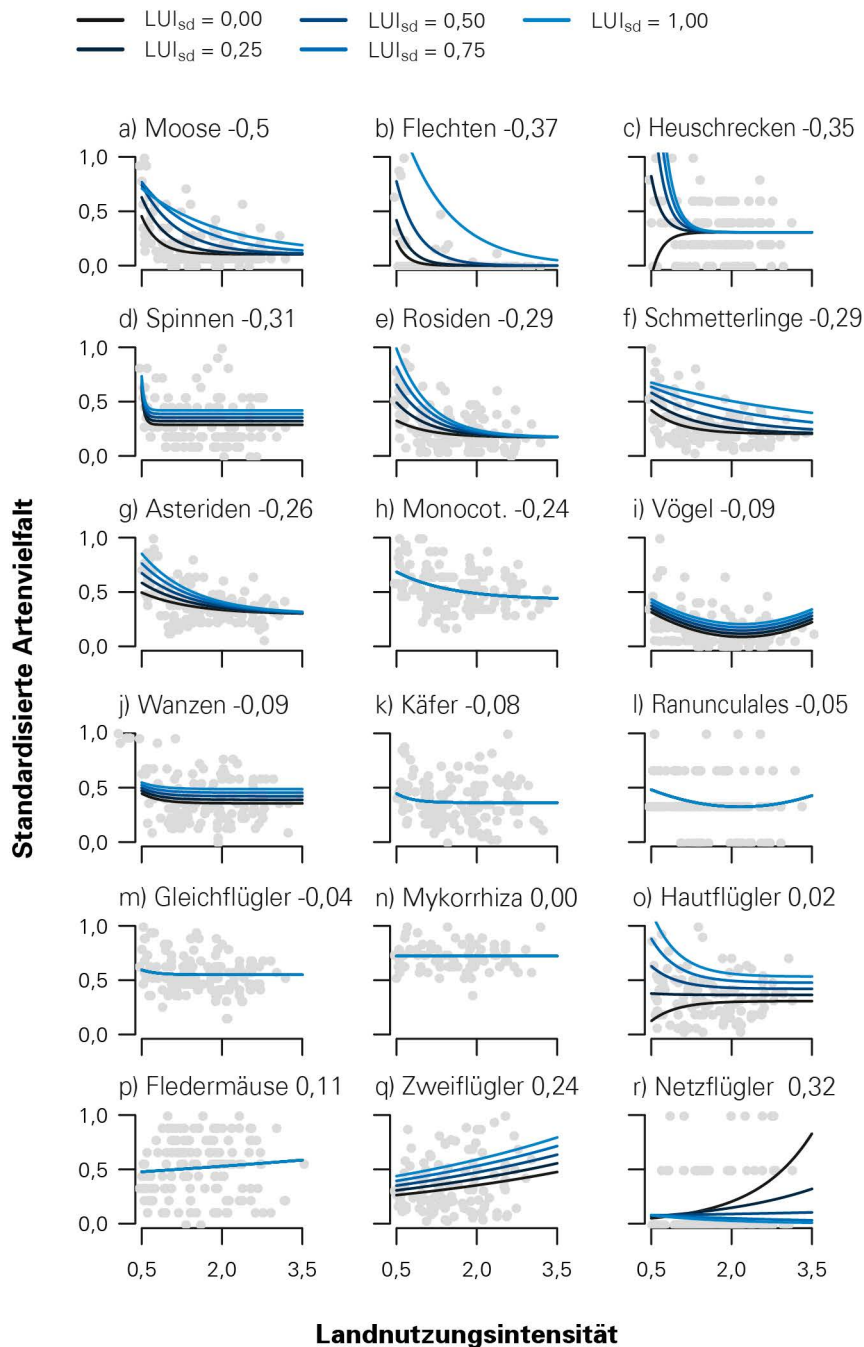


Abb. 5: Effekte von Landnutzungsintensität und zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität (LUI_{sd}) auf die Diversität der 18 Artengruppen, die auf allen 150 untersuchten Grünlandflächen erfasst wurden. Unterschiedliche Linien für verschiedene Werte von LUI_{sd} sind nur eingezeichnet, wenn das beste statistische Modell LUI_{sd} als signifikanten Faktor beinhaltet. Die Artengruppen sind nach der Stärke ihrer Reaktion auf Landnutzungsintensivierung sortiert. Der Wert neben dem Artengruppenamen gibt die relative Änderung der Biodiversität bei einer Änderung der Landnutzungsintensität von 0,5 zu 3,5 an, errechnet bei einem mittleren LUI_{sd}-Wert (-0,5 bei den Moosen bedeutet beispielsweise, dass die Diversität um 50 % abnimmt). Abbildung verändert nach ALLAN et al. (2014).

Fig. 5: Response to land-use intensity of scaled species richness for the 18 taxonomic groups measured on 150 plots. Where temporal variation in land-use intensity (LUI_{sd}) appeared in the model, model fits are shown for different values of LUI_{sd}. (A–R) The groups are sorted in order of their response to land-use intensity, from the group showing the strongest decline (a) to the strongest increase (r). For each group, changes in species richness with increasing land-use intensity are shown beside the name of the group on the graph and were calculated as the difference between the relative species richness predicted by the model at minimum land-use intensity (0.5) and the predicted species richness at maximum land-use intensity (3.5). Model predictions were evaluated at the mean LUI_{sd} and were averaged across regions. Figure modified after ALLAN et al. (2014).

unterirdisch vorkommende Gruppen. Für die Gesamtdiversität testeten wir zusätzlich zum Landnutzungsindex separat die Effekte der einzelnen Landnutzungs-komponenten Düngung, Mahd und Beweidung. Alle Analysen wurden mit R-Version 2.15 (R CORE TEAM 2012) durchgeführt. Für eine ausführliche Beschreibung der statistischen Methoden siehe ALLAN et al. (2014).

3. Ergebnisse

3.1 Effekt der lokalen Landnutzungsintensität

Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Gesamtdiversität mit ansteigender Landnutzungsintensität abnimmt (Abbildung 4a). Es erfolgte ein schneller Abfall der Diversität auf 30 % des Maximums; die Diversität blieb dann auch bei weiterer Intensivierung annähernd konstant. Die negativen Effekte waren vor allem bei niedriger Bewirtschaftungsintensität besonders stark, also im relativ extensiv genutzten Grünland. Die Diversität seltener Arten war von diesen negativen Effekten der Landnutzung im extensiven Grünland besonders stark betroffen. Dies bedeutet, dass sogar eine leichte Intensivierung im extensiven Grünland starke negative Folgen, vor allem für die Vielfalt seltener Arten, haben kann.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass einzelne Artgruppen sehr unterschiedlich reagieren können. Neben einigen deutlich negativ beeinflussten Artgruppen (zum Beispiel Pflanzen, Flechten, Heuschrecken, Spinnen, Schmetterlinge) gab es ebenfalls Gruppen, die kaum auf die steigende Landnutzungsintensität reagierten (zum Beispiel Zweiflügler, arbuskuläre Mykorrhiza und Fledermäuse; Abbildung 5).

3.2 Zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität

Die für drei Jahre ermittelten zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität förderten die Gesamtdiversität, und dies besonders bei niedriger Landnutzungsintensität

tät (Abbildung 4a). Auch bei der Betrachtung einzelner Artengruppen hatten zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität vornehmlich eine Zunahme der lokalen Diversität zur Folge. Dies war bei 11 der 18 untersuchten Gruppen der Fall; nur bei den artenarmen Netzflüglern zeigte sich eine negative Beziehung (Abbildung 5).

3.3 Bedeutung der zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität für relativ seltene und häufige Arten

Relativ seltene Arten profitierten besonders von großen zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität (Abbildung 4b). Interessanterweise profitierte die Gesamtdiversität relativ seltener Arten selbst in intermediär oder relativ intensiv genutzten Grünländern von zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität. Bei einer mittleren Landnutzungsintensität von 2 war beispielsweise die Gesamtdiversität relativ seltener Arten bei maximalen zeitlichen Veränderungen ($SD = 1$) etwa doppelt so hoch (31 %), wie bei konstanter Landnutzungsintensität ($SD = 0$; 18 %; Abbildung 4b). Dies zeigt deutlich, dass die meisten relativ seltenen Arten zwar von einer reduzierten Landnutzungsintensität profitieren, aber einzelne Gruppen auch bei höheren Landnutzungsintensitäten weiterhin vorkommen können, falls sich die Landnutzungsintensitäten zeitlich verändern. Auch bei den relativ häufigen Arten hatten zeitliche Veränderungen bei niedriger Landnutzungsintensität eine positive Wirkung auf die Diversität, wenn auch in einem deutlich geringeren Maße als bei den relativ seltenen Arten.

Betrachtet man die Auswirkung der drei Landnutzungs-komponenten (Düngung, Mahd, Beweidung) getrennt, hatten die zeitlichen Veränderungen der Beweidungsintensität den stärksten positiven Effekt auf die Gesamtdiversität. Dies bedeutet, dass regelmäßige Änderungen der Beweidungsintensität eine sinnvolle Strategie zur Erhaltung und Erhöhung der Biodiversität in Grünländern sein kann.

3.4 Bedeutung der zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität für ober- und unterirdisch lebende Organismen

Im Gegensatz zur Diversität der oberirdischen Gruppen (Abbildung 6a), wurde die Diversität der Bodenorganismen kaum durch Landnutzungsintensität oder zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität beeinflusst. Einzig eine höhere Mahdfrequenz führte zu einer statistisch signifikanten Reduktion der Diversität der Bodenorganismen (Abbildung 6b).

4. Diskussion

In der landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft Europas ist es von großer Bedeutung, Kompromisse zwischen Agrarproduktion und gleichzeitigem Schutz der Biodiversität zu finden. Die hier vorgestellten Ergebnisse deuten an, dass Naturschutzstrategien sowohl die räumliche als auch die zeitliche Variabilität der Landnut-

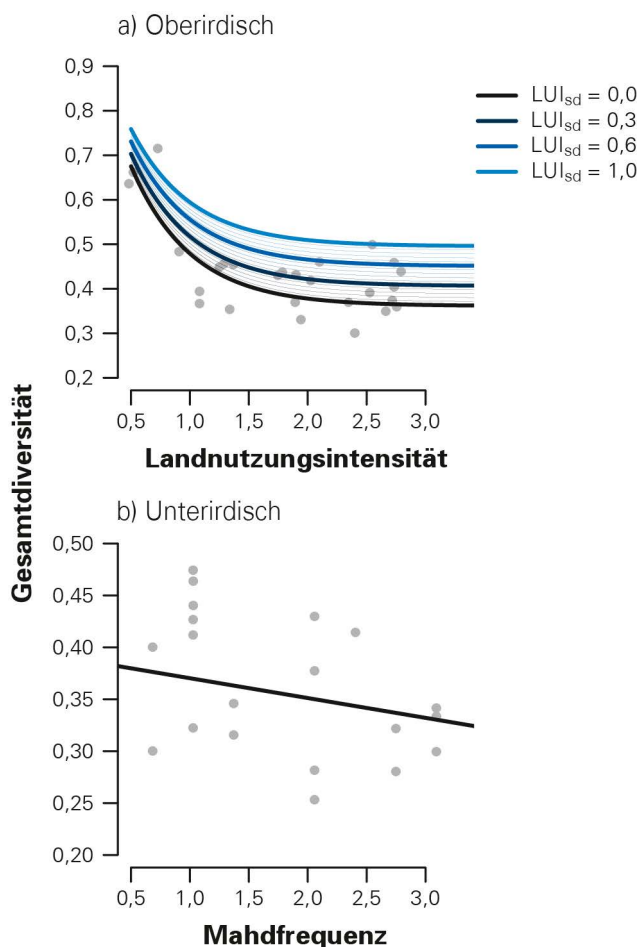


Abb. 6: Reaktion der Gesamtdiversität oberirdischer (a; 17 Artengruppen) versus unterirdischer Organismen (b; 32 Artengruppen) auf höhere Landnutzungsintensität beziehungsweise zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität. Bei unterirdischen Gruppen war Mahdfrequenz der einzige signifikante Faktor. Abbildung verändert nach ALLAN et al. (2014).

Fig. 6: Response of the multidiversity of the aboveground (a, 17 taxonomic groups) and belowground (b, 32 taxonomic groups) compartments to land-use intensity and temporal variation in land-use intensity (LUI_{sd}). Figure modified after ALLAN et al. (2014).

zungsintensität berücksichtigen sollten, um die Gesamtdiversität auf der Landschaftsebene zu fördern.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Intensivierung der Landnutzung im Grünland die Gesamtdiversität überwiegend negativ beeinflusst und dass dies besonders auf zuvor extensiv genutzten Flächen der Fall ist. Schon bei einer mittleren, relativ extensiven Landnutzung (siehe Kasten mit Beispielen zur Landnutzungsintensität) wird der asymptotische Wert von nur noch 30 % der Gesamtdiversität erreicht, was die äußerst artenarme Situation verdeutlicht, in der sich ein Großteil der landwirtschaftlich genutzten Grünländer Deutschlands bereits befindet. Dieses Ergebnis ist besonders dramatisch, wenn man bedenkt, dass wir in unserer Studie nicht einmal die in Deutschland großflächig vorkommenden, intensivst genutzten Grünländer untersucht haben, die noch deutlich stärker gedüngt und noch häufiger gemäht werden. Ein Umdenken sowie die Entwicklung

von geeigneten Instrumenten zur Umkehrung dieses Trends sind dringend erforderlich. Dieser Aspekt ist in der aktuellen Naturschutzplanung von besonderer Bedeutung, da die gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union dem Dauergrünland eine herausragende Bedeutung für den Artenschutz zuweist. Dauergrünland ist ein Begriff aus der Landwirtschaft, der pauschal als „Flächen, die durch Einsaat oder durch Selbstaussaat zum Anbau von Gräsern oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt und mindestens fünf Jahre nicht als Acker genutzt werden“ definiert wird (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2014). Die grundsätzlichen Richtlinien der EU zur Förderung und zum Erhalt von Dauergrünländern lassen jedoch nicht nur konkrete Bewirtschaftungsempfehlungen vermissen, sondern unterscheiden zunächst gar nicht zwischen extensiv und intensiv bewirtschafteten Dauergrünländern im Hinblick auf ihre Wirkung auf Umwelt- und Biodiversitätsschutz. Es gibt allerdings auf konkreter Ebene verschiedene nutzungsgebundene Instrumente zur Erreichung von Umweltzielen in der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik (zum Beispiel Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), ökologischer Landbau und Tierschutzmaßnahmen; vergleiche BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2015). Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Intensivierung der Bewirtschaftung auf ursprünglich extensivem Grünland besonders negative Folgen für die Diversität hat. Daher ist besonders wichtig, bei Bewirtschaftungsempfehlungen und -verträgen klar zwischen extensiv und intensiv genutzten Flächen zu unterscheiden.

Unsere Resultate betonen außerdem den positiven Effekt zeitlicher Veränderungen der Landnutzungsintensität auf die Gesamtdiversität. Dass dieser positive Effekt bei geringen durchschnittlichen Landnutzungsintensitäten besonders stark war, zeigt an, dass solche zeitlichen Veränderungen keine großen Ausschläge in Richtung von Jahren sehr intensiver Nutzung beinhalten dürfen (sonst würde die mittlere Landnutzung zu intensiv). Einzelne Artengruppen sind aber in der Lage, Zeiten etwas ungünstigerer Landnutzungsintensitäten zu überdauern und sich bei Verbesserung der Bedingungen wieder zu erholen. In diesem Fall könnte ein in seiner Intensität über die Jahre leicht variierendes Landnutzungsregime in einem räumlichen Mosaik verschiedener Intensitäten eher zum Erhalt einer höheren Biodiversität beitragen, als Grünländer mit konstanter Landnutzungsintensität.

Vor allem die Diversität relativ seltenerer Arten reagierte in dieser Studie sehr empfindlich auf eine Erhöhung der Landnutzungsintensität. Dieser negative Effekt könnte dadurch zu erklären sein, dass die Populationen seltener Arten meist kleiner sind und ihre ökologische Nische begrenzter ist, als die häufigerer Arten, was sie empfindlicher auf Störungen reagieren lässt (LAVERGNE et al. 2005). Relativ seltene Arten reagierten besonders positiv auf zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität und diese Beziehung kann möglicherweise den

Beispiele zum hier verwendeten Maß der Landnutzungsintensität

- Die kleinste Landnutzungsintensität von 0,5 entspricht entweder dem relativ unwahrscheinlichen Szenario einer einmaligen Mahd innerhalb von 2 Jahren bei gleichzeitiger Düngung von 6 kg Stickstoff pro ha und Jahr oder einer 30-tägigen Beweidung durch ein ausgewachsenes (mindestens zwei Jahre altes) Rind pro ha und Jahr oder einer ganzjährigen Beweidung durch ein Schaf pro ha und Jahr.
- Eine intermediäre Landnutzungsintensität von 1,5 entspricht einer zweimaligen Mahd pro Jahr, kombiniert mit einer Düngung von 60 kg Stickstoff pro ha und Jahr oder einer 300-tägigen Beweidung durch ein ausgewachsenes Rind pro ha und Jahr.
- Eine hohe Landnutzungsintensität von 3,0 entspricht einer 300-tägigen Beweidung durch drei ausgewachsene Rinder pro ha und Jahr, bei gleichzeitiger Düngung von 50 kg Stickstoff pro ha und Jahr oder einer dreimaligen Mahd pro Jahr, bei gleichzeitiger Düngung von 130 kg Stickstoff pro ha und Jahr.

Rückgang der Gesamtdiversität der seltenen Arten bei gleichzeitiger Erhöhung der Landnutzungsintensität verlangsamen. Dies verdeutlicht, dass sogar in durchschnittlich intensiv bewirtschafteten Grünländern die zeitlichen Veränderungen der Intensität noch eine wichtige Rolle für den Erhalt der Biodiversität spielen können.

Die untersuchten Bodenorganismen zeigten generell eine schwächere Reaktion auf eine zunehmende Landnutzungsintensität und größere zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität, als oberirdisch lebende Artengruppen. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Diversität von Bodenorganismen generell auf anderen räumlichen und zeitlichen Skalen reagiert, als die der oberirdischen Organismen (DE DEYN & VAN DER PUTTEN 2005) und vornehmlich von der Bodengeologie und dem pH-Wert abhängt. Wahrscheinlicher ist, dass zwar viele Gruppen von Bodenorganismen auf unterschiedliche Landnutzungsintensität reagieren; diese Reaktionen aber sowohl Zu- als auch Abnahmen beinhalten, so dass die Gesamtdiversität weniger reagiert. Es wird interessant sein zu sehen, ob sich mit feinerer Einteilung von Bakterien- oder Pilzgruppen, wie sie mit immer besseren molekularen Methoden voranschreitet, diese Vermutung bestätigen wird.

Auch Forschung zu langfristigen Trends und zur Stabilität von Populationen und Artenzusammensetzungen in unterschiedlich genutzten Grünländern gibt es bislang kaum, obschon die Ergebnisse solcher Studien zur Beurteilung der Konsequenzen von Landnutzung unerlässlich

lich sind. Erste Analysen im Rahmen der Biodiversitäts-Exploratorien deuten darauf hin, dass sich die Landnutzungsintensivierung in Wald und Grünland negativ auf die zeitliche Stabilität von Artengemeinschaften auswirkt (BLÜTHGEN et al. 2016).

5. Schlussfolgerungen

Die neu entwickelten Indizes zur Quantifizierung der Landnutzungsintensität und der Gesamtdiversität erwiesen sich als nützliche Instrumente und können für zukünftige Biodiversitätsstudien in Naturschutz-, Renaturierungs- und Agrarumweltprogrammen eingesetzt werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass sich eine Reduktion der Landnutzungsintensität positiv auf die Diversität der meisten untersuchten Artengruppen auswirken würde, vorausgesetzt, dass die durch intensive Nutzung verschwundenen Arten die Flächen wieder kolonisieren. Besonders ausbreitungslimitierte Arten könnten jedoch Schwierigkeiten haben, die extensivierten Flächen wieder zu erreichen. Zusätzlich ist die zeitliche Variabilität der Landnutzungsintensität eine weitere wichtige Steuergröße der Gesamtdiversität. Betrachtet man die Auswirkung einzelner Bewirtschaftungskomponenten, so hat die Variabilität der Beweidungsintensität den stärksten positiven Effekt auf die Gesamtdiversität.

Durch die Untersuchung einer ungewöhnlich großen Anzahl verschiedener Gruppen von Organismen konnte die Bedeutung extensiv bewirtschafteter Grünländer für die Gesamtdiversität und deren Schutz, die bisher vor allem aufgrund von Untersuchungen zu Pflanzen und verschiedenen einfach zu bestimmenden Tiergruppen vorgeschlagen worden war, untermauert und verallgemeinert werden. Außerdem zeigte sich, dass eine gewisse zeitliche Variabilität der Landnutzungsintensität zwischen den Jahren den Rückgang der Gesamtdiversität von relativ seltenen Arten sogar noch bei mittlerer Landnutzungsintensität verringern kann. Eine zeitliche Variabilität der Landnutzungsintensität kann somit ein geeignetes Instrument zur Erhöhung und Erhaltung der Biodiversität in Grünländern darstellen und sollte bei der Naturschutzplanung zum Erhalt der Biodiversität berücksichtigt werden.

6. Empfehlungen für die Praxis

Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Erhöhung der Landnutzungsintensität, vor allem auf bisher eher extensiv genutzten Flächen, drastische Biodiversitätsverluste nach sich zieht und deshalb zu vermeiden ist.

Zeitliche Veränderungen der Landnutzungsintensität wirken sich dagegen positiv auf die Biodiversität aus. Sie können relativ leicht durch eine Änderung der Bestockungsdichte, der Art des Weideviehs, der Mahdfrequenz, der Düngermenge oder durch eine Kombination dieser Maßnahmen über die Jahre erreicht werden. Aufgrund der bekannten negativen Langzeiteffekte von Düngung auf die Biodiversität (zum Beispiel ISBELL et al.

2013) und basierend auf unseren Ergebnissen ist jedoch von einem höheren Düngereinsatz zur Erhöhung der zeitlichen Veränderungen der Landnutzungsintensität auf bisher extensiv bewirtschafteten Flächen dringend abzuraten. Dies würde wenige dominante Arten fördern und kann zum Verlust vieler konkurrenzschwächerer Arten führen, die auf extensive Nutzungsbedingungen angewiesen sind.

Dagegen kann sich ein Wechsel der Mahdfrequenz und des Mahdzeitpunktes in verschiedenen Jahren positiv auf die Biodiversität von Grünländern auswirken. Zur Nutzung der positiven Wirkung zeitlicher Veränderungen der Landnutzungsintensität auf die Biodiversität empfehlen wir aufgrund unserer Ergebnisse generell einen vorübergehenden Wechsel der Bestockungsdichten.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch das DFG-Schwerpunktprogramm 1374 „Infrastruktur Biodiversitäts-Exploratorien“ gefördert. Alle notwendigen Genehmigungen der zuständigen Umweltämter von Baden-Württemberg, Thüringen und Brandenburg (gemäß § 72 BbgNatSchG) lagen vor. Wir danken Eric Heinze für die Gestaltung von Abbildung 1 sowie Michaela Bellach, Stefan Böhm, Carmen Börschig, François Buscot, Antonis Chatzinotas, Rolf Daniel, Christiane Fischer, Thomas Friedl, Karin Glaser, Sonja Gockel, Martin Gorke, Ladislav Hodac, Elisabeth Kalko, Birgitta König-Ries, Jochen Krauss, Karl Eduard Linsenmair, E. Kathryn Morris, Esther Pašalić, Simone Pfeiffer, Matthias C. Rillig, Christoph Scherber, Ingo Schöning, Waltraud Schulze, Juliane Steckel, Ingolf Steffan-Dewenter und Michael Werner für ihre Beiträge zum Originalartikel.

Literatur

- ALLAN, E. et al. (2014): Inter-annual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111: 308–313.
- ALLAN, E. et al. (2015): Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. – *Ecol. Lett.* 18: 834–843.
- BARDGETT, R. D. et al. (2005): A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. – *Trends Ecol. Evol.* 20: 634–641.
- BLÜTHGEN, N. et al. (2012): A quantitative index of land-use intensity in grasslands: Integrating mowing, grazing and fertilization. – *Basic Appl. Ecol.* 13: 207–220.
- BLÜTHGEN, N. et al. (2016): Land use imperils plant and animal community stability through changes in asynchrony rather than diversity. – *Nat. Commun.* 7: 10697.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2014): Grünland Report – Alles im Grünen Bereich? – BfN, Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2015): Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland. – BMEL, Bonn.
- DE DEYN, G. B. & VAN DER PUTTEN, W. H. (2005): Linking aboveground and belowground diversity. – *Trends Ecol. Evol.* 20: 625–633.
- FISCHER, M. et al. (2010): Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: The Biodiversity Exploratories. – *Basic Appl. Ecol.* 11: 473–485.

- FISCHER, M. & STÖCKLIN, J. (1997): Local extinctions of plants in remnants of extensively used calcareous grasslands 1950–1985. – *Conserv. Biol.* 11: 727–737.
- FLYNN, D. F. B. et al. (2009): Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. – *Ecol. Lett.* 12: 22–33.
- FOLEY, J. A. et al. (2005): Global consequences of land use. – *Science* 309: 570–574.
- ISBELL, F. et al. (2013): Low biodiversity state persists two decades after cessation of nutrient enrichment. – *Ecol. Lett.* 16: 454–460.
- LAVERGNE, S. et al. (2005): Environmental and human factors influencing rare plant local occurrence, extinction and persistence: A 115-year study in the Mediterranean region. – *J. Biogeogr.* 32: 799–811.
- MANNING, P. et al. (2015): Grassland management intensification weakens the associations among the diversities of multiple plant and animal taxa. – *Ecology* 96: 1492–1501.
- McKINNEY, M. L. & LOCKWOOD, J. L. (1999): Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction. – *Trends Ecol. Evol.* 14: 450–453.
- R CORE TEAM (2012): R: A Language and Environment for Statistical Computing (R Foundation for Statistical Computing, Vienna).
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2015): Statistisches Jahrbuch 2015. – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- WEINER, C. N. et al. (2014): Land-use impacts on plant-pollinator networks: interaction strength and specialization predict pollinator declines. – *Ecology* 95: 466–474.

Autoren



Steffen Boch,

Jahrgang 1976. Studium der Umweltwissenschaften in Lüneburg. Danach Dissertation an den Universitäten Potsdam und Bern im Fachbereich Pflanzenökologie von 2007 bis 2011. Seitdem wissenschaftlicher Assistent am Institut für Pflanzenwissenschaften und dem Botanischen Garten der Universität Bern. Arbeitsschwerpunkte: Landnutzungseffekte auf die Diversität von Pflanzen,

Moosen und Flechten sowie Interaktionen zwischen Kryptogamen und Herbivoren.

steffen.boch@ips.unibe.ch
+41 31 631 49-38



Eric Allan,

Jahrgang 1982. Studium der Biologie an der Universität Oxford. Dissertation von 2004 bis 2008 am Imperial College in London. Danach Postdoc an den Universitäten Jena und Bern. Seit 2013 Assistenzprofessor für Biodiversität, Ökosystemleistung und Nachhaltige Entwicklung an der Universität Bern. Arbeitsschwerpunkte: Biodiversität, Ökosystemfunktio-

nen, Landnutzung, Koexistenz zwischen Pflanzenarten, Herbivorie.

eric.allan@ips.unibe.ch
+41 31 631 49-92



Markus Fischer,

Jahrgang 1962. Studium der Physik an der Technischen Universität München. Danach Studium der Biologie und Dissertation an der Universität Basel sowie Habilitation an der Universität Zürich. Von 2003 bis 2007 Professor an der Universität Potsdam und seit 2007 Professor für Pflanzenökologie an der Universität Bern, seit 2010 auch Direktor des Botanischen Gartens

Bern. Sprecher des DFG-Schwerpunktprogramms Biodiversitäts-Exploratorien. Co-chair des IPBES-Zustandsberichts zu Biodiversität und Ökosystemleistungen in Europa und Zentralasien. Arbeitsschwerpunkte: Ursachen und Konsequenzen von Biodiversitätsveränderungen, Ökologie und Evolution von seltenen und invasiven Pflanzen, alpine Ökologie, Naturschutzbiologie.

markus.fischer@ips.unibe.ch
+41 31 631 49-43

Für alle drei:

Institut für Pflanzenwissenschaften und Botanischer Garten
Universität Bern
Altenbergrain 21
3013 Bern
SCHWEIZ

Zitiervorschlag

BOCH, S. et al. (2016): Extensive und jährlich wechselnde Nutzungsintensität fördert den Artenreichtum im Grünland. – *ANLIEGEN NATUR* 38(1): online 10 S., Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.