

Abschlussbericht „Stark bedrohte Pflanzenarten in Hessen – Arealanalyse und Klimawandel“

Laufzeit 2010-2014



Abschlussbericht

„Stark bedrohte Pflanzenarten in Hessen – Arealanalyse und Klimawandel“

Laufzeit 2010-2014

Projektleitung

Georg Zizka, Prof. Dr. (Projektleiter)

Abteilung Botanik und Molekulare Evolutionsforschung

Forschungsinstitut Senckenberg und Biodiversität und Klima Forschungszentrum

Senckenberganlage 25, D-60325 Frankfurt/Main

Telefon: 069-97075-1166, -1165, Fax 069-97075-1137

E-mail: georg.zizka@senckenberg.de

Projektbearbeitung

Christina Müller, Diplombiologin

Telefon: 069-97075-1153, Fax 069-97075-1137

E-mail: christina.mueller@senckenberg.de

Thomas Gregor, PD Dr.

Telefon: 069-97075-1158, Fax 069-97075-1137

E-mail: thomas.gregor@senckenberg.de

Marco Schmidt, Dr.

Telefon: 069-97075-1615, Fax 069-97075-1137

E-mail: marco.schmidt@senckenberg.de

Auftraggeber

Fachzentrum Klimawandel Hessen

im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie

Projektbetreuung

Fachzentrum Klimawandel Hessen

Frankfurt/Main, Februar 2014

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
1. Beschreibung / Problemstellung.....	5
2. Material und Methoden	7
2.1 Botanische Daten	8
2.2 Klima- und Umweltdaten	10
2.2.1 Externe Klimadaten.....	11
2.2.2 Landnutzungsdaten.....	11
2.3 Projektionen und Datenverarbeitung	13
2.4 Modellierung	14
3. Ergebnisse	15
3.1 Verbreitungsdaten und Schutzgebiete	15
3.2 Modellierung	17
3.2.1 Genauigkeit der Modellierungen.....	18
3.2.2 Modellierungen der untersuchten Arten.....	20
4. Diskussion	85
4.1 Der Klimawandel und seine Folgen: Prognosen zur Artverbreitung	85
4.2 Einfluss von Landnutzungsdaten auf die Modellierung	88
4.3 Beurteilung der Modellierungsergebnisse	88
4.4 Empfehlungen für Schutzmaßnahmen und Schlussfolgerung.....	89
5. Literatur	91

Zusammenfassung

Während allgemeine Folgen des Klimawandels für die Flora Deutschlands bereits in einer übergreifenden Studie untersucht wurden (Pompe et al. 2008, 2009), fehlen bisher Analysen auf regionaler Ebene, besonders für bedrohte und seltene Arten. Die vorliegende Studie untersucht die Frage, welche Arealveränderungen für naturschutzfachlich bedeutende Pflanzenarten in Hessen im Laufe des Klimawandels abgeschätzt werden können und was dies für ihre zukünftige Erhaltung bedeutet. Hierfür wurden 65 der insgesamt über 200 Rote Liste-Arten der Kategorie 1 (vom Aussterben bedroht) oder Kategorie 2 (stark gefährdet) ausgewählt. Für die Beurteilung der Reaktion von Arten auf den Klimawandel erwiesen sich Art-Verbreitungsmodelle als hilfreich, weshalb dieser Ansatz für unsere Untersuchungen gewählt wurde. Für die Modellierungen wurden Klimadaten des mittleren A1B-Szenarios gewählt. Auf regionaler Ebene können Klimasignale von Landnutzungseffekten überlagert werden, weil die Überlebenschancen mancher Arten von der Bewirtschaftungsform abhängig sind (Pompe et al. 2009). Deshalb wurden neben Klimadaten auch Landnutzungsdaten in die Modellierung einbezogen. Auf Grundlage aktueller und prognostizierter Umweltdaten erfolgte die Modellierung der aktuellen potenziellen Areale und der potenziellen zukünftigen Areale. Zuletzt fand eine Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen und geeigneter Schutzmaßnahmen unter Verwendung der Modellierungen sowie von Expertenwissen zu Ökologie und aktueller Bestandssituation statt.

Für die Modellierungen wurde das Programm Maxent, Version 3.3.3e (Phillips et al. 2010) verwendet. Dies vor allem wegen seiner Fähigkeit auch mit relativ wenigen Fundpunkten noch robuste Modelle zu generieren und weil das Programm bereits in vielen vergleichbaren Studien eingesetzt wurde.

Nach unseren Modellierungen existieren im Jahr 2100 nur noch etwa drei Viertel der untersuchten Arten in Hessen. Dies übersteigt den bisher deutschlandweit vorhergesagten Artverlust von 15-19 Prozent für das A1B-Szenario (Pompe et al. 2008). Allerdings wurden hier auch nur die naturschutzrelevanten Arten behandelt, deren hessische Vorkommen aufgrund der geringen Größe der besiedelten Areale stärker gefährdet sind als bei nicht-gefährdeten Arten mit meist größeren Verbreitungsarealen. Das Ergebnis weist auf die Notwendigkeit von geeigneten Schutzmaßnahmen zum Erhalt der kritischen Arten hin.

Eine voraussichtlich wichtigere Rolle als der Klimawandel wird für die bearbeiteten Arten die Landnutzung und ihr Wandel spielen: Viele der untersuchten Arten sind an eine bestimmte, heute zurückgehende Nutzung ihrer Standorte angewiesen. Zum Schutz dieser Arten ist es entscheidend, die entsprechende Nutzung in den verbleibenden Gebieten sicher zu stellen.

1. Beschreibung / Problemstellung

Der beobachtete Klimawandel der letzten Jahre wird mit dem Ausstoß an Treibhausgasen in Verbindung gebracht und alle gegenwärtigen Klimaprojektionen gehen auch von einer weiteren langfristigen substanziellen Erwärmung der Atmosphäre aus, mit einem globalen Temperaturanstieg um 1,5 bis 4,5°C bis zum Jahr 2100 (IPCC 2013). Hitzewellen oder Starkniederschläge treten wahrscheinlich häufiger und länger auf. Die klimatischen Veränderungen werden sich also in Zukunft voraussichtlich noch weiter verstärken, mit weit reichenden Folgen für Gesellschaft und Natur (z.B. Leadley et al. 2010, Pettoirelli 2012). Eine der zentralen Fragen ist, welche Auswirkungen die Klimaveränderung auf die Verbreitung von Arten bzw. die Diversität hat. Wie sich zeigte, führte die jüngere Klimaerwärmung bereits zu verfrühtem Blühbeginn und einer nachhaltigen Arealverschiebung von Arten in Richtung zu den Polen bzw. in höhere Lagen (Walther et al. 2002, Thomas et al. 2004, Parmesan 2006) und es wird von teils drastischen Arealverkleinerungen bei Pflanzenarten in der Zukunft ausgegangen (Thuiller et al. 2005). Insbesondere seltene Arten, die kleine oder disjunkte Areale besiedeln und häufig auch eine enge ökologische Amplitude aufweisen, werden durch den Klimawandel beeinflusst (Pompe et al. 2008, Bellard et al. 2012), aber auch viele derzeit noch nicht bedrohte Arten könnten in ihrem Bestand gefährdet werden (Thuiller et al. 2005). Die allgemeinen Folgen für die Flora Deutschlands wurden in einer übergreifenden Studie modelliert (Pompe et al. 2008, 2009), auf regionaler Ebene besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf. Gerade für die besonders bedrohten Arten und Biotope sollten die Auswirkungen des Klimawandels mittels Monitoring und Modellierung prioritär untersucht werden, verbunden mit dem Ziel, daraus Handlungsempfehlungen bezüglich des Biodiversitätserhalts zu entwickeln (Mosbrugger et al. 2012: 417). Für Prognosen zur Reaktion von Arten auf den Klimawandel haben sich Art-Verbreitungsmodelle als hilfreich erwiesen, sie bilden die Grundlage diesbezüglicher Untersuchungen (z.B. Bellard et al. 2012). Dabei ist jedoch zu beachten, dass auf regionaler Ebene Klimasignale möglicherweise von Landnutzungseffekten überlagert werden, weil die Überlebenschancen mancher Arten von der Bewirtschaftungsform abhängig sind (Pompe et al. 2009). Daher müssen Landnutzungsszenarien in die Modellierungen einbezogen werden.

Die Veränderungen der Flora von Hessen im Zuge des Klimawandels sind bisher nur unzureichend untersucht. In Anbetracht der Klimaprojektionen ist auch für dieses Bundesland mit starken Verschiebungen in der Artenzusammensetzung zu rechnen. So ist für Hessen bei Szenario A1B in den Jahren 2031-2060 von einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,1

bis 2,6°C, für 2071-2100 um 1,9 bis 3,7°C auszugehen (Umweltatlas Hessen 2014). Außerdem werden sich die Niederschlagsmengen im Sommer verringern, während die Niederschläge im Winter zunehmen. Für die vorliegende Studie sind wir daher der Frage nachgegangen, welche Arealveränderungen für naturschutzfachlich bedeutende Pflanzenarten in Hessen im Zuge der Klimaveränderungen abgeschätzt werden können und welche Schlussfolgerungen daraus für ihre zukünftige Erhaltung abgeleitet werden können.

Insgesamt sind über 200 Arten der Roten Liste Hessen als vom Aussterben bedroht (Kategorie 1) oder stark gefährdet (Kategorie 2) eingestuft, für manche davon besitzt Hessen eine besondere Verantwortung. Für 65 dieser Arten (siehe Tabelle 1) wurden aktuelle und historische Verbreitungsdaten recherchiert. Sie bildeten die Grundlage der hier vorgestellten Analyse.

Tabelle 1: Liste der untersuchten Arten.

Art	Deutscher Name	Familie
<i>Allium strictum</i>	Steifer Lauch	Alliaceae
<i>Alyssum gmelinii</i>	Dünen-Steinkraut	Brassicaceae
<i>Anacamptis pyramidalis</i>	Hundswurz	Orchidaceae
<i>Androsace elongata</i>	Langgestielter Mannsschild	Primulaceae
<i>Antennaria dioica</i>	Gewöhnliches Katzenpfötchen	Asteraceae
<i>Arabis nemorensis</i>	Hain-Gänsekresse	Brassicaceae
<i>Arnoseris minima</i>	Lämmersalat	Asteraceae
<i>Aster amellus</i>	Kalk-Aster	Asteraceae
<i>Bassia laniflora</i>	Sand-Radmelde	Chenopodiaceae
<i>Botrychium matricariifolium</i>	Ästige Mondraute	Ophioglossaceae
<i>Caldesia parnassifolia</i>	Herzlöffel	Alismataceae
<i>Campanula baumgartenii</i>	Lanzenblättrige Glockenblume	Campanulaceae
<i>Campanula cervicaria</i>	Borstige Glockenblume	Campanulaceae
<i>Carex lasiocarpa</i>	Faden-Segge	Cyperaceae
<i>Chimaphila umbellata</i>	Dolden-Winterlieb	Ericaceae
<i>Cnidium dubium</i>	Brenndolde	Apiaceae
<i>Coeloglossum viride</i>	Hohlzunge	Orchidaceae
<i>Cynoglossum germanicum</i>	Wald-Hundszunge	Orchidaceae
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	Fleischrotes Knabenkraut	Orchidaceae
<i>Dictamnus albus</i>	Diptam	Rutaceae
<i>Euphrasia frigida</i>	Nordischer Augentrost	Scrophulariaceae/Orobanchaceae
<i>Festuca duvalii</i>	Duvals Schaf-Schwingel	Poaceae
<i>Fumana procumbens</i>	Zwergsonnenröschen	Cistaceae
<i>Galeopsis ladanum</i>	Breitblättriger Hohlzahn	Lamiaceae
<i>Gentiana cruciata</i>	Kreuz-Enzian	Gentianaceae
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	Lungen-Enzian	Gentianaceae
<i>Gentianella campestris</i>	Feld-Enzian	Gentianaceae
<i>Herminium monorchis</i>	Einknolle, Elfenstendel	Orchidaceae
<i>Hypochaeris maculata</i>	Geflecktes Ferkelkraut	Asteraceae
<i>Iris sibirica</i>	Sibirische Schwertlilie	Iridaceae
<i>Iris spuria</i>	Wiesen-Schwertlilie	Iridaceae
<i>Legousia hybrida</i>	Kleiner Frauenspiegel	Campanulaceae
<i>Linum tenuifolium</i>	Zarter/Schmalblättriger Lein	Linaceae
<i>Linum leonii</i>	Lothringer Lein	Linaceae

<i>Luronium natans</i>	Froschkraut	Alismataceae
<i>Marsilea quadrifolia</i>	Kleefarn	Marsileaceae
<i>Mibora minima</i>	Zwerggras	Poaceae
<i>Moenchia erecta</i>	Aufrechte Weißmiere	Caryophyllaceae
<i>Nigella arvensis</i>	Acker-Schwarzkümmel	Ranunculaceae
<i>Oenanthe peucedanifolia</i>	Haarstrang-Wasserfenchel	Apiaceae
<i>Orobanche arenaria</i>	Sand-Sommerwurz	Scrophulariaceae/Orobanchaceae
<i>Poa badensis</i>	Badener Rispengras	Poaceae
<i>Potentilla alba</i>	Weißes Fingerkraut	Rosaceae
<i>Potentilla heptaphylla</i>	Rötliches Fingerkraut	Rosaceae
<i>Ranunculus hederaceus</i>	Efeublättriger Hahnenfuß	Ranunculaceae
<i>Rhinanthus glacialis</i>	Schmalblättriger Klappertopf	Scrophulariaceae/Orobanchaceae
<i>Rhinanthus angustifolius</i>	Großer Klappertopf	Scrophulariaceae/Orobanchaceae
<i>Rubus harsicus</i>	Hessische Brombeere	Rosaceae
<i>Scleranthus verticillatus</i>	Hügel-Knäulgras	Caryophyllaceae
<i>Sedum villosum</i>	Sumpf-Fetthenne	Crassulaceae
<i>Spergula pentandra</i>	Fünfmänniger Spark	Caryophyllaceae
<i>Taraxacum bavaricum</i>	Bayerischer Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum germanicum</i>	Deutscher Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum hollandicum</i>	Holländischer Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum multilepis</i>	Reichschuppiger Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum pauckertianum</i>	Gänse-Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum subalpinum</i>	Krummholz-Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Taraxacum trilobifolium</i>	Stufenblättriger Sumpflöwenzahn	Asteraceae
<i>Tephrosieris helenitis</i>	Spatelblättriges Greiskraut	Asteraceae
<i>Trifolium spadiceum</i>	Moor-Klee	Fabaceae
<i>Ventenata dubia</i>	Zweifelhafter Grannenhafer	Poaceae
<i>Veronica acinifolia</i>	Drüsiger Ehrenpreis	Scrophulariaceae/Plantaginaceae
<i>Viola pumila</i>	Niedriges Veilchen	Violaceae
<i>Wahlenbergia hederacea</i>	Moorglöckchen	Campanulaceae
<i>Woodsia ilvensis</i>	Südlicher Wimpernfarn	Dryopteridaceae

2. Material und Methoden

Grundlage der durchgeführten Untersuchung sind zum einen die Verbreitungsdaten, die für Hessen im Rahmen des Projektes umfassend, unter Berücksichtigung von Sammlungen und Literatur, erhoben wurden. Die für die Modellierung der aktuellen potenziellen Areale notwendigen Verbreitungsdaten für Deutschland und Europa wurden kompiliert und standardisiert (s. 2.1). Die andere wichtige Datengrundlage sind Umwelt- und Landnutzungsdaten (aktuell und Prognosen), die aus verschiedenen Quellen generiert wurden (s. 2.2).

Auf dieser Datengrundlage erfolgte die Modellierung der aktuellen potenziellen Areale und der potenziellen zukünftigen Areale sowie die Analyse, welche Umweltvariablen in besonderem Maße die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Arten beeinflussen. Im letzten Arbeitsschritt wurden unter Verwendung der Modellierungen und von Expertenwissen für bedrohte Arten mit prognostiziertem starken Areal- oder Bestandsrückgang Handlungsempfehlungen und geeignete Schutzmaßnahmen dargelegt.

2.1 Botanische Daten

Für 65 Arten (Tabelle 1) wurden alle bekannten historischen und aktuellen Fundpunkte in Hessen, insgesamt rund 8700, erfasst (Abb. 1). Hieran war der Botaniker Sylvain Hodvina maßgeblich beteiligt. Die Funddaten stammen aus ca. 900 Quellen, davon knapp 30 Herbarien sowie Informationen des Servicezentrums „Forsteinrichtung und Naturschutz“ (*FENA*). Für Deutschland wurden die Verbreitungsdaten der Arten für alle Bundesländer zusammengetragen (ca. 62 000 Fundpunkte).

Die verwendeten Verbreitungsdaten der untersuchten Arten stammen aus Quellen verschiedener Herkunft, neben Herbarien auch z.B. Kartierungsprojekte und floristische Untersuchungen. Für einen Teil der Daten lagen nur Fundortbeschreibungen oder Messtischblattquadranten-Angaben vor, die mithilfe der Programme GoogleEarth und ArcGIS 10.0 (ESRI, Redlands, USA) georeferenziert wurden. Dabei wurde zuerst mit ArcGIS 10.0 ein der Messtischblattgröße entsprechendes Gitternetz erstellt, dieses in Quadranten und Sechzehntel unterteilt und anschließend die einzelnen Gitterzellen benannt. Für die Funddaten mit Messtischblatt-Angaben erfolgte im nächsten Schritt die Berechnung der Mittelpunkts-Koordinaten der Gitterzellen. Die Mittelpunktskoordinaten wurden anschließend in Excel exportiert und in Access mit der Tabelle, die die Messtischblattangaben der Artfundpunkte enthielt, verknüpft.

Bei Fundortangaben mit Ortsbeschreibung wurde der Fundort mithilfe der Karten in GoogleMaps und ArcGIS möglichst genau bestimmt und die Koordinaten des Punktes erfasst.

In Deutschland wird meistens die Gauß-Krüger(GK)-Projektion verwendet. Dabei handelt es sich um eine winkeltreue transversale Zylinderabbildung. Das System ermöglicht die Darstellung kleiner Gebiete (z.B. Länder) mit metrischen Koordinaten. Um Verzerrungen bei der transversale Mercatorprojektion möglichst gering zu halten, erfolgt die Abbildung in die Ebene streifenweise. Dadurch entstehen die 3° breiten GK-Meridianstreifen (Flacke et al. 2010). Deutschland ist in diesem System in 5 Streifen oder Zonen unterteilt. Um die Fundortangaben verschiedener Bundesländer für Verbreitungskarten oder Modellierungen verwenden zu können, müssen sie alle einer einheitlichen GK-Zone zugeordnet sein. Für die weitere Verwendung der Daten wurde die GK Zone 3, die in der Mitte Deutschlands liegt und zu der auch Hessen zählt, ausgewählt. Koordinaten der Funddaten aus anderen GK-Zonen Deutschlands wurden mit ArcGIS 10.0 in Koordinaten der Zone 3 umgerechnet. Abschließend erfolgte die Zusammenführung der einzelnen Tabellen der einzelnen Quellennachweise mit Access.

Für jede Art wurden Karten der historischen und aktuellen Verbreitung in Hessen sowie der aktuellen Verbreitung in Deutschland mit ArcGIS 10.0 erstellt.

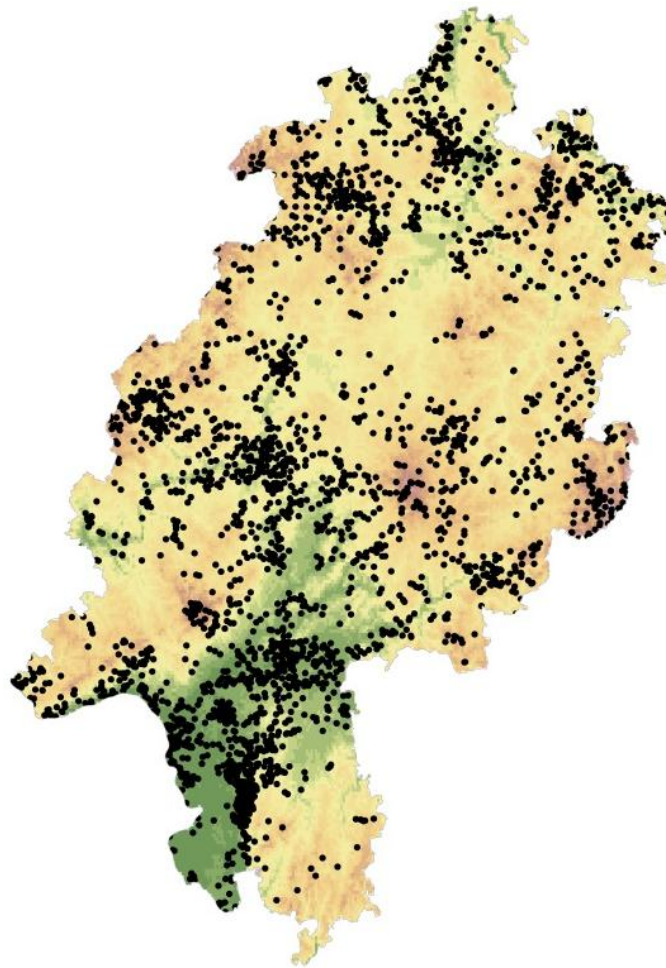


Abbildung 1: Historische und aktuelle Funddaten (schwarze Punkte), für die 65 untersuchten Arten in Hessen. Insgesamt liegen ca. 8700 Vorkommensnachweise vor.

2.2 Klima- und Umweltdaten

Für die Modellierung der potenziellen rezenten und zukünftigen Verbreitungen standen uns folgende Daten zur Verfügung (Tabelle 2):

Tabelle 2: Klima- und Umweltdaten.

Daten	Auflösung	Herkunft
Klima - Beobachtungsdaten, 1961-2000	10 bzw. 20 km	HLUG
Klima – Beobachtungsdaten 1950-2010	1 km	Deutscher Wetterdienst (DWD)
Bioklimatische Daten – Beobachtungsdaten, weltweit, 1950-2000	~ 1 km	Worldclim/Bioclim (http://www.worldclim.org/ , http://www.worldclim.org/bioclim); s.a. Hijmans et al. (2005)
Klima-Projektionen, A1B-Szenario:		
ECHAM5-CCLM, 1960-2100	20 km	HLUG
HADCM3-CCLM, 1960-2100	20 km	HLUG
ECHAM5-REMO, 1960-2100	10 km	HLUG
ECHAM5, 2000-2100 (Abkürzung ECHAM5 (1km))	~1 km	CGIAR Research Programme on Climate Change, Agriculture and Food Security (CAAFS, http://www.ccafs-climate.org/data/)
Schutzgebiete		HLUG
Landnutzung 2006	100 m	Corine Landcover 2006 (http://www.corine.dfd.dlr.de/intro_de.html)
Weltweite Landnutzung	300 m	GlobCover 2009 (http://due.esrin.esa.int/globcover/)
Landnutzungsszenarien des LandSHIFT-Projekts für Hessen: 2000, 2025, 2050	250 m	Center for Environmental Systems Research (CESR), Universität Kassel, AK PD Dr. Schaldach
Bodendaten Europa	1 km	European Soil Database
Bodendaten Europa: pH, Bodendichte, Textur	250 m	European Soil Portal (http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/)
Weltweite Höhendaten	90 m, 250 m, 1 km	CGIAR Research Programme on Climate Change, Agriculture and Food Security (CAAFS, http://www.ccafs-climate.org/data/)

Wie oben bereits erwähnt, ist die Einbeziehung von Landnutzungsdaten und -szenarien wichtig, weil sie für den Erhalt vieler Arten von größerer Bedeutung sind als klimatische Faktoren (z.B. Pompe et al. 2009).

2.2.1 Externe Klimadaten

Die Klimadaten des CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*) *Research Programme on Climate Change, Agriculture and Food Security* wurden mittels Downscaling-Verfahren der Delta-Methode erstellt (<http://www.ccafs-climate.org/statistical-downscaling-delta/>). Diese Methode basiert auf der Summe interpolierter Anomalien der Daten aus zukünftigen Klimaszenarien zu hochaufgelösten monatlichen Klimadaten von Worldclim. Als Anomalien wurden die Differenzen zwischen Mittelwerten zukünftiger 30-jähriger Perioden der *General Circulation*-Modelle (GCM) zu den Mittelwerten von 1961-1990 berechnet. Das Verfahren erzeugt eine geglättete Oberfläche der klimatischen Veränderungen (Deltas oder Anomalien) und wendet diese hochgerechnete Oberfläche auf die hochaufgelöste klimatische Messbasis (Worldclim Daten) an. Dabei nimmt die Methode an, dass klimatische Veränderungen nur im größeren Maßstab (ca. 100-200 km) relevant sind und dass die Beziehungen zwischen Variablen des aktuellen Klimas auch in der Zukunft Bestand haben werden. Als klimatische Basislinie wurden Klimadaten von Worldclim in einer Auflösung von 30 arc-Sekunden (ca. 1 km) über den Zeitraum 1961-1990 gemittelt, während die GCMs der Earth System Grid (ESG) *Online*-Plattform der Zeitserie 2000 bis 2100 genutzt wurden (A1B, A2, B1 Emissionsszenarien). Entsprechend den heutigen Klimadaten wurden aus den prognostizierten Klimadaten Mittelwerte 30-jähriger Perioden für Minimum-, Mittel-, Maximum-Temperatur und Niederschlag berechnet. Für jede der so entstandenen zukünftigen Zeitperioden wurden die Anomalien oder Deltas im Vergleich zur klimatischen Basislinie für jede Variable und jeden Monat berechnet. Anschließend erfolgte die Hochrechnung dieser Anomalien mit dem „Thin plate spline interpolation“-Verfahren (Ramirez-Villegas & Jarvis 2010). Durch die Interpolation war es möglich eine Auflösung von 30 arc-Sekunden (ca. 1 km) zu erhalten. Insgesamt wurde diese Methode für 24 GCMs durchgeführt, in diesem Projekt wurde für die Modellierung das globale atmosphärische Zirkulationsmodell ECHAM5 des A1B-Szenarios verwendet.

2.2.2 Landnutzungsdaten

Abbildung 2 zeigt die Landnutzungsdaten, die uns von der Arbeitsgruppe von PD Dr. Rüdiger Schaldach (Center for Environmental Systems Research, Universität Kassel) dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden. Nach diesem Szenario nehmen die Brachflächen in Zukunft zu, Grünland und Waldflächen nehmen dagegen ab. Weiterhin ist eine Zunahme der Stadtgebiete und Verkehrsflächen zu erkennen. Die Landnutzungsdaten reichen allerdings nur

bis 2050. Damit auch für den Zeitraum nach 2050 Modellierungen mit Landnutzung erfolgen konnten, wurden für diesen Zeitbereich die Landnutzungsdaten für das Jahr 2050 zugrunde gelegt.

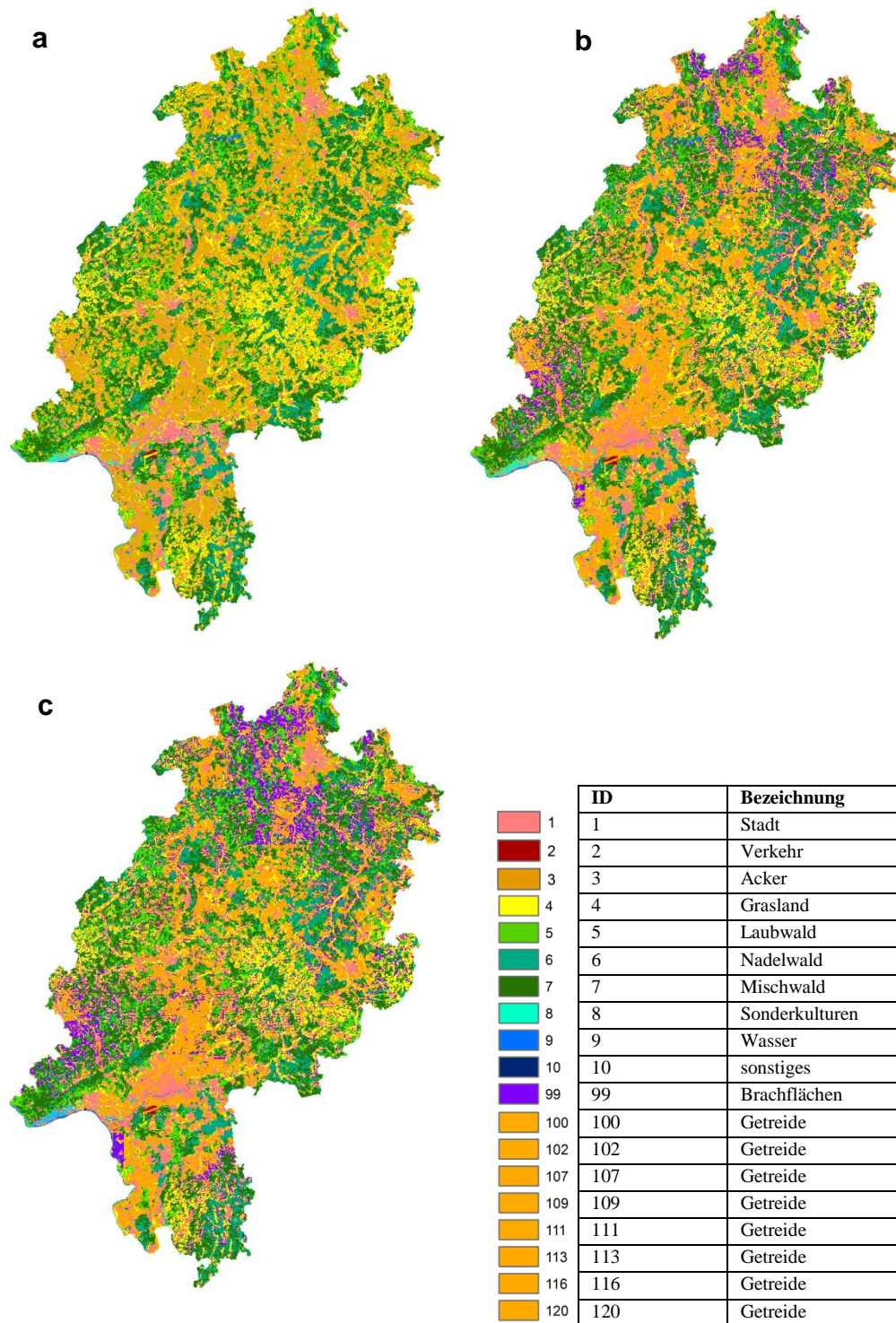


Abbildung 2: Landnutzung in Hessen für die Jahre 2000 (a), 2025 (b) und 2050 (c).

2.3 Projektionen und Datenverarbeitung

Die Daten aus den von uns genutzten unterschiedlichen Quellen lagen in verschiedenen Koordinatensystemen vor. Mit ArcGIS wurden die Daten in ein einheitliches Koordinatensystem (Gauß-Krüger Zone 3 bzw. WGS 1984) projiziert (siehe auch 2.1). Bei WGS84 handelt es sich um ein weltweites geodätisches Bezugssystem, in dem Koordinaten von Beobachtungspunkten aus satellitengestützter Positionsbestimmung ermittelt werden.

Die Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden mit dem Statistikprogramm R, Version 2.15.1 (R Core Team 2012) zu von Wordclim verwendeten bioklimatischen Variablen (siehe Tabelle 3) verarbeitet.

Die Klimadaten des HLUg lagen als Zeitreihe mit Tageswerten im Netcdf-Format vor. Diese wurden zuerst in Dateien mit Monatsmittelwerten umgewandelt. Anschließend fand die Berechnung von Jahresmittelwerten mit dem R-Paket „raster“ (Hijmans et al. 2012) sowie die Bildung von 19 bioklimatischen Variablen (Tabelle 3) mit dem R-Paket „dismo“ (Hijmans et al. 2012) statt.

Tabelle 3: Bioklimatische Variablen.

Variable	Beschreibung
Bio1	Mittlere Jahrestemperatur, °C
Bio2	Mittlere Temperaturspanne (monatlicher Mittelwert (Max. Temp. – Min. Temp.), °C
Bio3	Isothermie ((Bio2/Bio7)*100), °C
Bio4	Temperatur-Saisonalität (Standardabweichung *100)
Bio5	Maximumtemperatur des wärmsten Monats, °C
Bio6	Minimumtemperatur des kältesten Monats, °C
Bio7	Jahres-Temperaturspanne (Bio5-Bio6), °C
Bio8	Mitteltemperatur des feuchtesten Jahresviertels, °C
Bio9	Mitteltemperatur des trockensten Jahresviertels, °C
Bio10	Mitteltemperatur des wärmsten Jahresviertels, °C
Bio11	Mitteltemperatur des kältesten Jahresviertels, °C
Bio12	Mittlerer Jahresniederschlag, mm
Bio13	Niederschlag des feuchtesten Monats, mm
Bio14	Niederschlag des trockensten Monats, mm
Bio15	Niederschlags-Saisonalität (Standardabweichung *100)
Bio16	Mittlerer Niederschlag des feuchtesten Jahresviertels, mm
Bio17	Mittlerer Niederschlag des trockensten Jahresviertels, mm
Bio18	Mittlerer Niederschlag des wärmsten Jahresviertels, mm
Bio19	Mittlerer Niederschlag des kältesten Jahresviertels, mm

Anschließend erfolgte, wenn nötig, die Extraktion der Klimadaten für die jeweiligen Untersuchungsgebiete (Hessen, Deutschland) mit ArcGIS 10.0. Dafür wurde die Masken-Extraktion des „Spatial Analyst“ genutzt.

Die Umweltdaten (Boden, Höhe, Landnutzung) liegen teilweise in einer viel feineren Auflösung als die Klimadaten vor. Aus diesem Grund wurde die Auflösung der Klimadaten für

diese Analysen mit ArcGIS an die Umweltdaten angeglichen, indem die größeren Rasterzellen in mehrere kleine des gleichen Wertes unterteilt wurden.

2.4 Modellierung

Die Modellierungen wurden mit dem Programm Maxent, Version 3.3.3e (Phillips et al. 2010) durchgeführt, einem Programm, das sich als leistungsfähig erwiesen hat, selbst mit relativ wenigen Fundpunkten noch robuste Modelle generieren kann und in vielen vergleichbaren Studien eingesetzt wurde (z.B. Elith et al. 2006, Pearson et al. 2007, Loiselle et al. 2008, Elith et al. 2011). Maxent ist ein Programm, das mit der maximalen Entropie-Methode die potenzielle Verbreitung von Arten berechnet. Es verwendet Verbreitungsdaten sowie Umweltdaten (wie Klima, Boden; siehe Tabelle 2). Das Programm errechnet daraus die Modelle mit der maximalen Entropie innerhalb des multidimensionalen ökologischen Raums unter Berücksichtigung der bekannten Verbreitungspunkte, um die potenzielle Verbreitung abzuschätzen (Elith et al. 2011).

Da die Vorkommenswahrscheinlichkeit einer Art nur auf den ausgewählten Umweltvariablen beruht, können zum Beispiel mithilfe von Klimamodellen auch Projektionen zu Artverbreitungen für andere Zeitfenster erzeugt werden. (Elith et al. 2011, Phillips et al. 2004). Bei den in der vorliegenden Studie durchgeführten Modellierungen fand eine Projektion vergleichbarer Arealbereiche in die Zukunft statt. Neben dem aktuellen Zustand (1980-2010) als Referenz wurden die Zeitscheiben 2031-2060 und 2071-2100 analysiert.

Es wurden für jede Art 10 Wiederholungen der Modellierung gewählt. Zur Bestimmung der Aussagekraft der Modellierungen wurden AUC („area under the curve“)-Werte (Hanley & McNeil 1982) verwendet (Pearce & Ferrier 2000, Manel et al. 2001, McPherson et al. 2004, McPherson & Jetz 2007, Guisan et al. 2007, Hanspach et al. 2010). Diese Werte werden zwar kontrovers diskutiert (Lobo et al. 2008), aber als Mittel der Wahl weiterhin häufig verwendet. Der AUC-Wert ist ein Maß der Fähigkeit des Modells, zwischen geeigneten und ungeeigneten Habitaten zu unterscheiden. Der Wert misst, ob aktuelle Fundorte eine höhere Eignung der Habitate (also eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit) aufweisen als zufällig gewählte Punkte im untersuchten Gebiet. AUC-Werte über 0,7 zeigen ein „brauchbares“ Modell an, Modellierungen mit Werten über 0,9 können als sehr gut eingestuft werden (Swets 1988, Fielding & Bell 1997; Tabelle 4). Hierfür wurde bei den Testläufen die Einstellung „cross-validate“ gewählt. Weiterhin wurde „Auto features“ gewählt und „jackknife“ durchgeführt, um den Einfluss der einzelnen Variablen auf das Modell festzustellen. Zum Schluss wurden die Ergebnisse der Modellierungen in ArcGIS oder R mit einem einheitlichen Farbcode für

die Vorkommenswahrscheinlichkeiten, dem Grenzverlauf des Bundeslandes Hessen und/oder den dokumentierten aktuellen Fundpunkten versehen.

Ein grundsätzliches methodisches Problem ergibt sich für Arten mit zu wenig dokumentierten Fundorten. Mehrere Studien zeigten, dass mindestens 5-10 Fundpunkte für eine sinnvolle Modellierung notwendig sind (Hernandez et al. 2006, Pearson et al. 2007, Wisz et al. 2008). Für unsere Untersuchungen wurden deshalb alle Arten mit weniger als 5 Fundpunkten vom Modellierungsansatz ausgeschlossen (s. Tabelle 6).

Tabelle 4: AUC-Werte und Modellgenauigkeit (nach Swets 1988).

AUC-Wert	Modellgenauigkeit
<0,5	Sehr schlecht
0,5 bis 0,7	Ungenau
0,7 bis 0,9	Brauchbar
>0,9	Sinnvolles Modell
0,9 bis 0,95	Gutes Modell
0,95 bis <1	Sehr gutes Modell

3. Ergebnisse

3.1 Verbreitungsdaten und Schutzgebiete

In Abbildung 4 sind die FFH- und Naturschutzgebiete Hessens (Abb. 4a, grüne Bereiche) und die erfassten historischen und aktuellen Fundpunkte der bearbeiteten Arten in Hessen (Abb. 4b+c) dargestellt. Als aktuell gelten die seit 1990 dokumentierten Fundorte. Wie in Abbildung 4b und c zu sehen ist, existieren die meisten historischen Fundorte (weiße Punkte) außerhalb der Schutzgebiete nicht mehr und der Rückgang außerhalb der Schutzgebiete ist deutlich höher als innerhalb dieser Gebiete. Unter Berücksichtigung der historischen Vorkommen liegen rund 36 % der Fundpunkte in Schutzgebieten (Abb. 4b rote Punkte, Abb. 3a). Betrachtet man nur die aktuellen Vorkommen, befinden sich rund 53 % in Schutzgebieten (Abb. 4c rote Punkte, Abb. 3b).

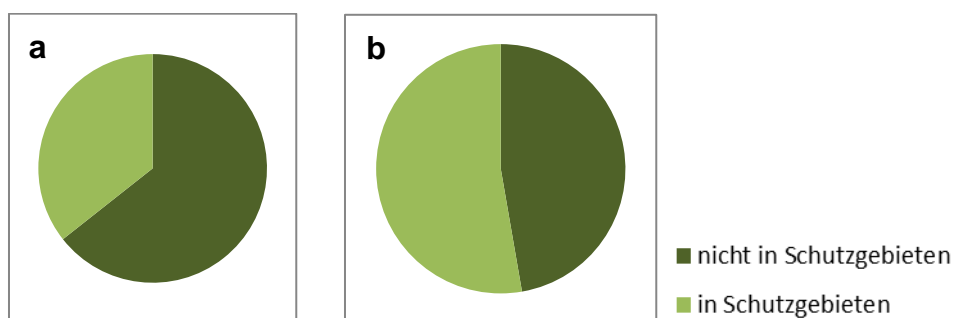


Abbildung 3: Anteil der Fundpunkte bedrohter und geschützter Arten in FFH- und Naturschutzgebieten und außerhalb dieser. (a) Alle Fundpunkte (also historische und aktuelle), (b) nur aktuelle Fundpunkte seit 1990.

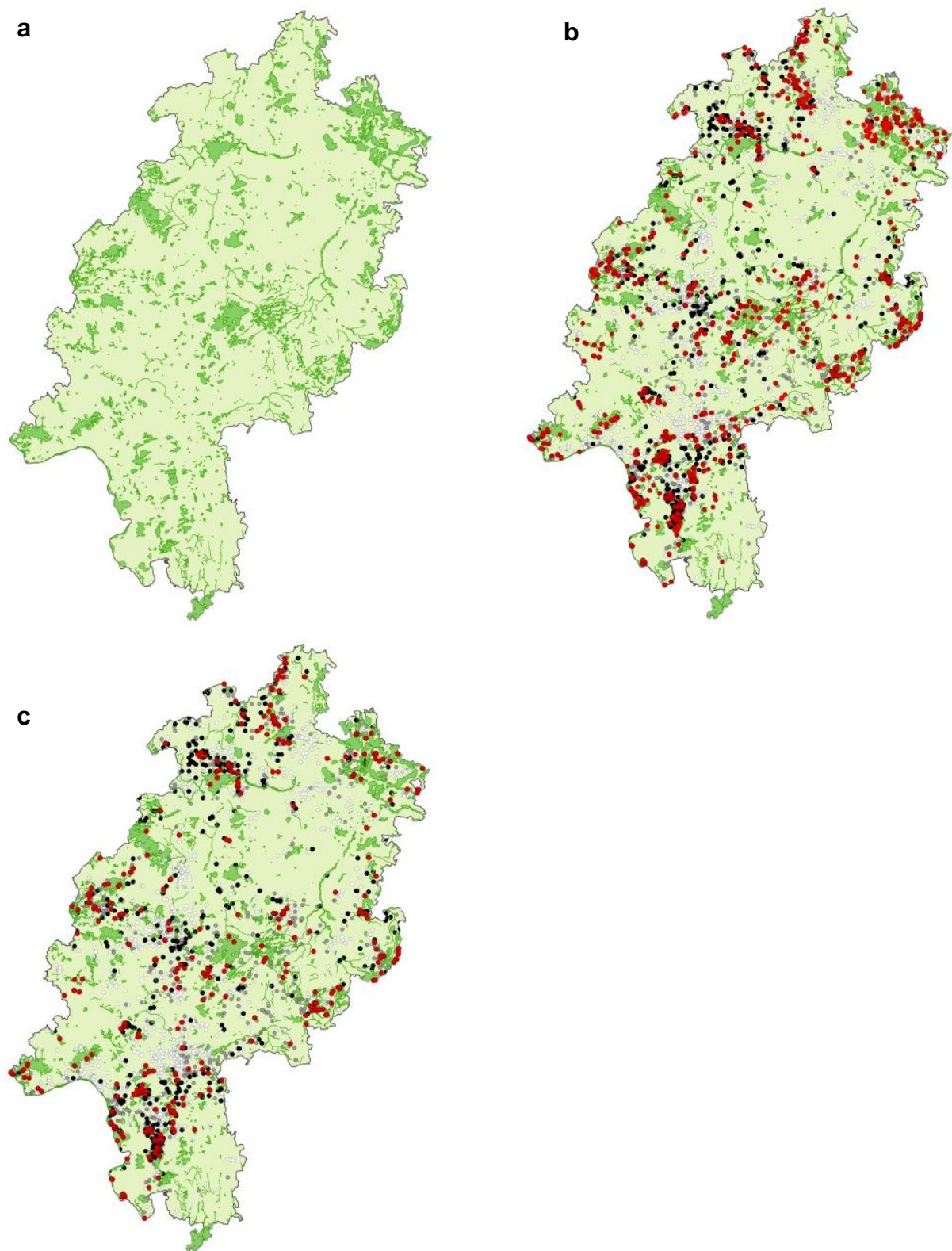


Abbildung 4: FFH- und Naturschutzgebiete in Hessen und hessische Vorkommen der untersuchten bedrohten und geschützten Arten.

(a) FFH- und Naturschutzgebiete in dunkelgrün,

(b) Vorkommen vor 1950 ○, Vorkommen zwischen 1950 und 1990 ●, Vorkommen ab 1990 ●, alle Vorkommen in Schutzgebieten ●,

(c) wie b, aber nur Vorkommen in Schutzgebieten seit 1990 ●.

3.2 Modellierung

Im Folgenden werden die untersuchten Arten hinsichtlich ihrer Verbreitung, ihrer Standortansprüche sowie ihres Schutzstatus (Symbole siehe Tabelle 5) beschrieben. Als Literatur wurden dazu Hemm (2008), (2011), Sebald et al. (1992a, b, 1993a, b, 1996a, b, 1998a, b) sowie verschiedene Gutachten verwendet. Die Ergebnisse der Modellierungen werden in Tabellenform (verwendete Symbole siehe Tabelle 5) zusammengefasst und durch eine natur-schutzfachliche Einschätzung der Arten auf der Basis der Ergebnisse und von Expertenwissen ergänzt. Die Ergebnisse der Modellierungen (Karten der potenziellen Areale) befinden sich im Anhang, die entsprechende Seitenzahl ist bei der jeweiligen Art angegeben. Bei diesen nimmt die Vorkommenswahrscheinlichkeit von blau (0 %) über grün und gelb bis rot (100 %) zu.

Zusätzlich zu den Modellierungen mit den Daten des HLUG werden Ergebnisse eines globalen Klimamodells (ECHAM5) mit einer Auflösung von 1 km gezeigt. Neben den reinen Klimamodellierungen wurden auch solche mit einer Kombination aus Klima- und Land-nutzungsdaten erstellt. Die Ergebnisse dieser Modellierungen (unter Verwendung der HLUG Klimadaten) sind ebenfalls im Anhang aufgeführt. Alle Modellierungen liegen jeweils für den aktuellen Zeitraum (1980-2010) sowie für die Zeitscheiben 2031-2060 und 2071-2100 vor.

Tabelle 5: Verwendete Symbole.

Schutzstatus		Modellierung	
Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung
1	Vom Aussterben bedroht	++	Starke Zunahme
2	Stark gefährdet	+	Zunahme
3	Gefährdet	(+)	Zunahme-Tendenz
R	Extrem selten	0	Keine Veränderung
		(-)	Abnahme-Tendenz
		-	Abnahme
		--	Starke Abnahme

Tabelle 6: Arten, die aufgrund von zu geringer Anzahl an Fundpunkten in Hessen nicht modelliert wurden.

Zu wenige Fundpunkte in Hessen	Keine aktuellen Fundpunkte in Hessen
<i>Allium strictum</i>	<i>Caldesia parnassifolia</i>
<i>Botrychium matricariifolium</i>	<i>Luronium natans</i>
<i>Coeloglossum viride</i>	<i>Marsilea quadrifolia</i>
<i>Potentilla alba</i>	<i>Taraxacum bavaricum</i>
<i>Taraxacum multilepis</i>	<i>Taraxacum pauckertianum</i>
<i>Taraxacum subalpinum</i>	
<i>Tephrosieris helenitis</i>	
<i>Veronica acinifolia</i>	

3.2.1 Genauigkeit der Modellierungen

In der Gesamtheit betrachtet weisen die Modelle, die auf Klima- und Landnutzungsdaten beruhen, bessere AUC-Werte auf als die Modelle, die nur auf Klimadaten basieren (Tabellen 7 und 8). Für die HLUK-Daten können danach Klimamodellierungen bei 41 Arten und Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten bei 47 Arten als mindestens „brauchbar“ (AUC > 0,7) eingestuft werden. Davon sind 24 der Klima- und 33 der Klima-Landnutzungsmodellierungen als gute ($0,9 \leq \text{AUC} \leq 0,95$) bis sehr gute ($0,95 < \text{AUC} < 1$) Modellierungen anzusehen. Bei den Modellierungen mit den externen, hochaufgelösten Klimadaten (ECHAM5 [1km]) ergeben sich 44 „brauchbare“ Modellierungen, davon 21 (nur Klima) bzw. 47 (Klima und Landnutzung) gute bis sehr gute Modellierungen (nicht in Tabelle 7 und 8 enthalten).

Die Analyse zeigt auch, dass unter den bioklimatischen Variablen Temperatur-Saisonalität (Bio4) den stärksten Einfluss auf die Modelle hat, gefolgt von Mitteltemperatur des wärmsten Jahresviertels (Bio10), Mitteltemperatur des trockensten Jahresviertels (Bio9), Mittlerer Niederschlag des kältesten Jahresviertels (Bio19) und Mittlere Jahrestemperatur (Bio1), Jahres-Temperaturspanne (Bio7) sowie Mittlerer Niederschlag des wärmsten Jahresviertels (Bio18).

Tabelle 7: AUC-Werte der Modellierungen und die 5 einflussreichsten bioklimatischen Variablen. AUC = nur HLUK-Klimadaten; AUC-LN = AUC-Werte bei Verwendung von Klima- und Landnutzungsdaten.

Art	AUC / AUC-LN		Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4	Variable 5
<i>Alyssum gmelinii</i>	0,97	0,99	Bio10 (74,6%)	Bio4 (8,3%)	Bio1 (4,6)	Bio2 (2,9%)	Bio12 (2,5 %)
<i>Anacamptis pyramidalis</i>	0,73	0,83	Bio18 (37,8%)	Bio3 (36,1%)	Bio4 (19,6%)	Bio6 (2,3%)	Bio5 (1,6%)
<i>Androsace elongata</i>	0,5	0,96	Alle Parameter gleichwertig				
<i>Antennaria dioica</i>	0,9	0,83	Bio11 (29,7%)	Bio4 (21,6%)	Bio7 (13,4%)	Bio3 (8,9%)	Bio1 (8,6%)
<i>Arabis nemorensis</i>	0,98	0,99	Bio10 (64,5%)	Bio1 (15,7%)	Bio17 (10,1%)	Bio9 (2,6%)	Bio4 (1,5%)
<i>Arnoseris minima</i>	0,47	0,6	Bio4 (53%)	Bio15 (13,2%)	Bio9 (12,1%)	Bio3 (8,9%)	Bio19 (5,2%)
<i>Aster amellus</i>	0,7	0,55	Bio18 (38,3 %)	Bio16 (19,5%)	Bio9 (13,9 %)	Bio3 (7,1 %)	Bio2 (4,8%)
<i>Bassia laniflora</i>	0,96	0,98	Bio10 (75%)	Bio4 (6,9%)	Bio1 (3,8%)	Bio2 (3%)	Bio19 (2,5%)
<i>Campanula baumgartenii</i>	0,6	0,99	Alle Parameter gleichwertig				
<i>Campanula cervicaria</i>	0,68	0,8	Bio9 (86,5%)	Bio7 (4,7%)	Bio4 (4,6%)	Bio18 (3,6 %)	Bio14 (0,4%)
<i>Carex lasiocarpa</i>	0,55	0,28	Bio18 (77,1 %)	Bio12 (12,2%)	Bio4 (4,7%)	Bio9 (2,5%)	Bio17 (1,7%)
<i>Chimaphila umbellata</i>	0,93	0,99	Bio13 (37,9%)	Bio18 (14,8%)	Bio11 (13,4%)	Bio3 (11,8%)	Bio9 (9,7%)
<i>Cnidium dubium</i>	0,99	0,99	Bio10 (50,7%)	Bio13 (29,9%)	Bio17 (6,6%)	Bio5 (5,7%)	Bio1 (4,8%)
<i>Cynoglossum germanicum</i>	0,96	0,94	Bio15 (28,9%)	Bio4 (21,5%)	Bio19 (11,3 %)	Bio11 (10,2%)	Bio7 (9,5%)
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	0,97	0,94	Bio10 (59%)	Bio13 (24,1%)	Bio1 (14,8%)	Bio19 (1,1%)	Bio11 (0,4%)
<i>Dictamnus albus</i>	0,86	0,87	Bio16 (33,6%)	Bio18 (23%)	Bio6 (18,7%)	Bio10 (8,8%)	Bio3 (8,8%)
<i>Euphrasia frigida</i>	0,74	0,92	Bio4 (46,3%)	Bio9 (22,1%)	Bio14 (7,6%)	Bio7 (6,7%)	Bio18 (5,7%)
<i>Festuca duvalii</i>	0,96	0,99	Bio10 (78%)	Bio4 (5,5%)	Bio1 (5%)	Bio2 (4,9%)	Bio18 (3,6%)
<i>Fumana procumbens</i>	0,58	0,97	Bio9 (33,9%)	Bio6 (22,4%)	Bio10 (20,7%)	Bio17 (18,1%)	Bio4 (3%)
<i>Galeopsis ladanum</i>	0,87	0,72	Bio4 (31,5%)	Bio11 (26,1%)	Bio3 (10,6%)	Bio14 (9,5%)	Bio19 (5,4%)
<i>Gentiana cruciata</i>	0,73	0,94	Bio15 (74,7%)	Bio11 (6,4%)	Bio9 (5,4%)	Bio6 (4,9%)	Bio16 (3,4%)
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	0,73	0,94	Bio17 (29,4%)	Bio6 (25,7%)	Bio10 (14,7%)	Bio5 (10,6%)	Bio14 (6%)
<i>Gentianella campestris</i>	0,92	0,92	Bio11 (27,9%)	Bio15 (22,3%)	Bio18 (9,5%)	Bio14 (8,6%)	Bio17 (7,1%)
<i>Herminium monorchis</i>	0,68	0,84	Bio19 (43,3%)	Bio7 (17,2%)	Bio17 (9,2%)	Bio9 (8,2%)	Bio2 (6,8%)
<i>Hypochaeris maculata</i>	0,84	0,78	Bio15 (33,5%)	Bio11 (30,6%)	Bio7 (15,6%)	Bio17 (8%)	Bio9 (6,4%)
<i>Iris sibirica</i>	0,85	0,88	Bio13 (36%)	Bio6 (22,6%)	Bio10 (13,5%)	Bio4 (7%)	Bio8 (5,4%)
<i>Iris spuria</i>	0,99	0,99	Bio10 (47,9%)	Bio17 (21,2%)	Bio13 (11,6 %)	Bio5 (6,8%)	Bio1 (5,8%)
<i>Legousia hybrida</i>	0,97	0,93	Bio9 (44,3%)	Bio10 (22,6%)	Bio17 (14%)	Bio18 (4,7%)	Bio1 (3,4%)
<i>Linum leonii</i>	0,89	0,93	Bio9 (61,2%)	Bio10 (10,7%)	Bio15 (8,8%)	Bio14 (8,4%)	Bio4 (7,6%)
<i>Linum tenuifolium</i>	0,52	0,58	Bio18 (58%)	Bio19 (12,9%)	Bio9 (9,5%)	Bio3 (8,7%)	Bio2 (5,4%)

<i>Mibora minima</i>	0,98	0,98	Bio10 (58,7%)	Bio13 (16,7%)	Bio8 (10,5%)	Bio19 (4,8%)	Bio1 (3%)
<i>Moenchia erecta</i>	0,93	0,86	Bio7 (24%)	Bio15 (23,4%)	Bio11 (11,4%)	Bio4 (11,4%)	Bio3 (10,1%)
<i>Nigella arvensis</i>	0,96	0,98	Bio10 (81,6%)	Bio4 (8,9%)	Bio1 (3,2%)	Bio19 (2,8%)	Bio12 (0,7%)
<i>Oenanthe peucedanifolia</i>	0,96	0,98	Bio10 (59,4%)	Bio13 (16,7%)	Bio1 (11,1%)	Bio19 (5,7%)	Bio8 (4,3%)
<i>Orobancha arenaria</i>	0,96	0,99	Bio10 (75%)	Bio4 (6,9%)	Bio1 (3,8%)	Bio2 (3%)	Bio19 (2,5%)
<i>Poa badensis</i>	0,96	0,99	Bio10 (75%)	Bio4 (6,9%)	Bio1 (3,8%)	Bio2 (3%)	Bio19 (2,5%)
<i>Potentilla heptaphylla</i>	0,77	0,93	Bio18 (45,8%)	Bio7 (19,5%)	Bio15 (12,9%)	Bio4 (6,1%)	Bio19 (4,6%)
<i>Ranunculus hederaceus</i>	0,63	0,55	Bio1 (42,5%)	Bio10 (23,5%)	Bio15 (10,6%)	Bio9 (5,7%)	Bio19 (5,7%)
<i>Rhinanthus angustifolius</i>	0,81	0,67	Bio7 (36,1%)	Bio11 (25,5%)	Bio14 (8,7%)	Bio9 (8,2%)	Bio15 (7,7%)
<i>Rhinanthus glacialis</i>	0,95	0,99	Bio11 (48,3%)	Bio7 (17,7%)	Bio2 (10,6%)	Bio4 (9,5%)	Bio19 (8,2%)
<i>Rubus harsicus</i>	0,96	0,98	Bio13 (36,8%)	Bio10 (14,4%)	Bio8 (14,3%)	Bio18 (9,6%)	Bio15 (7,1%)
<i>Scleranthus verticillatus</i>	0,83	0,95	Bio14 (42,9%)	Bio6 (19,7%)	Bio9 (14,1%)	Bio7 (8,4%)	Bio12 (6,7%)
<i>Sedum villosum</i>	0,91	0,86	Bio11 (47,6%)	Bio7 (19,1%)	Bio4 (14,2%)	Bio2 (9,1%)	Bio19 (6,8%)
<i>Spergula pentandra</i>	0,80	0,78	Bio14 (69,2%)	Bio7 (14,5%)	Bio3 (4,7%)	Bio18 (4,7%)	Bio9 (3,4%)
<i>Taraxacum germanicum</i>	0,81	0,9	Bio4 (22,2%)	Bio6 (20,3%)	Bio17 (16,4%)	Bio18 (14,5%)	Bio10 (14%)
<i>Taraxacum hollanicum</i>	0,9	0,96	Bio10 (45,6%)	Bio18 (17%)	Bio4 (12,8%)	Bio6 (11,5%)	Bio12 (5%)
<i>Taraxacum trilobifolium</i>	0,95	0,95	Bio1 (24,4%)	Bio10 (24,2%)	Bio13 (15,6%)	Bio8 (12,1%)	Bio19 (4,7%)
<i>Trifolium spadiceum</i>	0,82	0,86	Bio11 (58,1%)	Bio7 (20,7%)	Bio4 (11,9%)	Bio2 (2,6%)	Bio6 (2,2%)
<i>Ventenata dubia</i>	0,95	0,93	Bio7 (26,5%)	Bio4 (21,1%)	Bio14 (13,9%)	Bio15 (9,3%)	Bio2 (7,3%)
<i>Viola pumila</i>	0,97	0,98	Bio10 (75,9%)	Bio17 (10,4%)	Bio12 (3,9%)	Bio1 (2%)	Bio5 (1,8%)
<i>Wahlenbergia hederacea</i>	0,55	0,8	Bio13 (26,7%)	Bio8 (15%)	Bio18 (12,7%)	Bio9 (9,6%)	Bio4 (8,8%)
<i>Woodsia ilvensis</i>	0,75	0,73	Bio19 (25,1%)	Bio5 (15,9%)	Bio9 (11,6%)	Bio3 (10,8%)	Bio18 (8,6%)

Tabelle 8: Anzahl der Modellierungen mit AUC-Werten über 0,7: >0,7 bis <0,9: brauchbar; ≥0,9 bis 0,95: gutes Modell, >0,95 bis <1: sehr gutes Modell.

AUC-Wert	Anzahl der Modellierungen (Klima)	Anzahl der Modellierungen (Klima und Landnutzung)
0,7 bis <0,9	17	14
≥0,9 bis 0,95	8	13
>0,95 bis <1	16	20

3.2.2 Modellierungen der untersuchten Arten

Steifer Lauch (*Allium strictum*)

Verbreitung: Mitteleuropa und Nordeuropa bis nach Ostasien. Verbreitungsschwerpunkt in Südsibirien, weiterhin in Trockentälern der Alpen, in der Tschechischen Republik, in Öland und Ladogo-See.

Hessen: Am Bilstein im Höllental und am Sonderrain bei Bad Wildungen.

Ökologie: Felsen- und Trockenrasen.

Status:

RL Deutschland 1, RL Hessen 2

Nach Bundesnaturschutzgesetz besonders geschützt.

Besondere Verantwortung Hessens für den Erhalt der Art, da die beiden hessischen Vorkommen die einzigen in Deutschland sind.

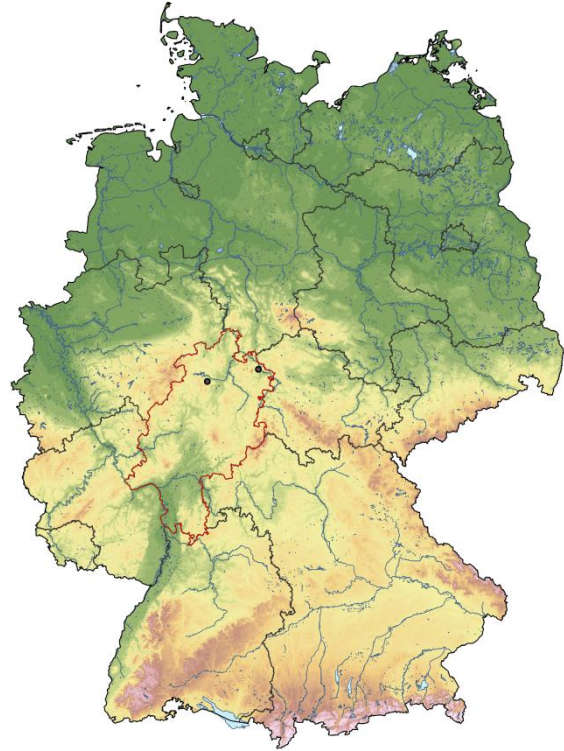


Abbildung 5: *Allium strictum*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Dünen-Steinkraut (*Alyssum montanum* subsp. *gmelinii*)

Verbreitung: Kontinental, Ural bis Polen, Ungarn und Bulgarien. Das Dünen-Steinkraut erreicht in Deutschland die Westgrenze des Areals. *Alyssum montanum* subsp. *gmelinii* besiedelt in Deutschland basenreiche Sande in der nördlichen Oberrheinebene sowie in Unterfranken. In Hessen ist das Sand-Steinkraut nur im Rhein-Main-Gebiet zu finden.

Ökologie: Lückige Sandtrockenrasen

Status:

RL Deutschland 2, RL Hessen 1

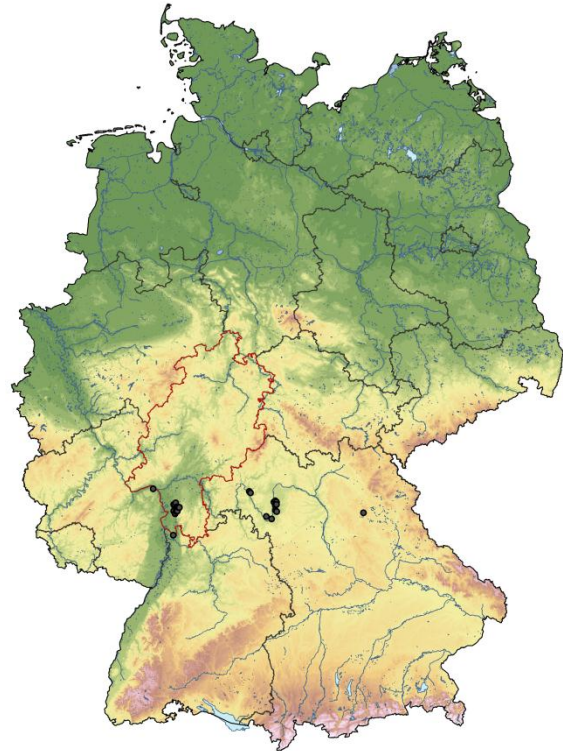


Abbildung 6: *Alyssum montanum* subsp. *gmelinii*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 2-3):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	++	0	0	-	--	-	-
2071- 2100	++	++	0	--	--	--	--

Die Modellierungen zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Nach den klimatischen Ansprüchen wäre eine Arealausweitung in Hessen zu erwarten, doch stehen entsprechende Standorte (basenreiche Sande) außerhalb der Oberrheinebene nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund kann keine Arealausweitung stattfinden.

Hundswurz (*Anacamptis pyramidalis*)

Verbreitung: Mitteleuropäisch-mediterran, nördlich bis England, Südsandinavien und Baltikum. Im Süden von Portugal bis Kleinasien, Nordafrika, Krim, Kaukasus und Iran. In Deutschland in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz mit Saarland, besonders südlich Mainz und an der Grenze zu Frankreich verbreitet. Vereinzelt in Mittel- und Nordwest-Bayern, Südwest-Hessen und Rhön, Südwest-Thüringen, Süd-Sachsen-Anhalt und Südost-Niedersachsen. Sehr selten in Brandenburg.

Ökologie: Submediterrane Halbtrockenrasen, wechsellückige Wiesen sowie Trockenwälder und Trockengebüschsäume.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

Modellierung (siehe Anhang Seite 4-5):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	-	+	+	-	++
2071- 2100	0	-	+	++	+	-	-

Die Modellierungen zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Nach den klimatischen Ansprüchen ist eine Arealausweitung in Hessen zu erwarten. Diese Entwicklung wird nur durch die Modellierung ECHAM5 1 km gezeigt. *A. pyramidalis* besiedelt Kalkmagerrasen, die ruderalisiert sein können. Dieser Lebensraumtyp ist in Hessen großflächig vorhanden.

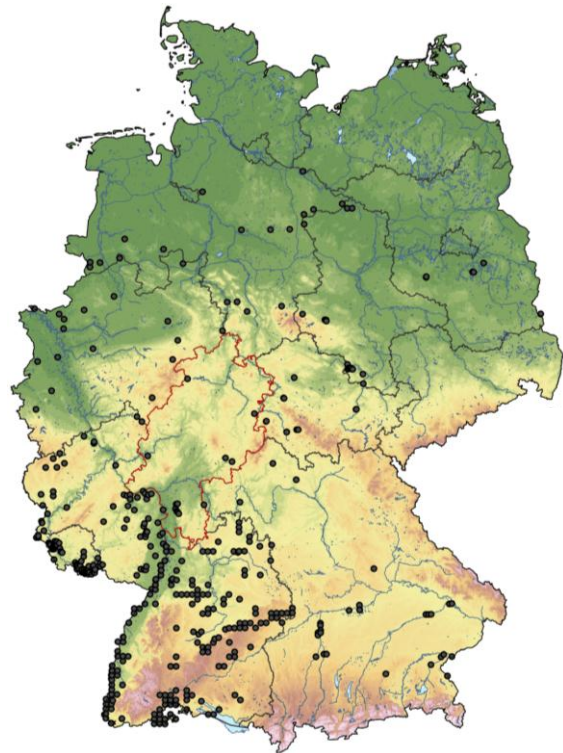


Abbildung 7: *Anacamptis pyramidalis*, Verbreitung in Deutschland.

Langgestielter Mannsschild (*Androsace elongata*)

Verbreitung: Verbreitungsschwerpunkt in Steppen nördlich des Schwarzen und des Kaspischen Meeres, bis zum Ural. Größeres Teilareal in Europa im pannonischen Raum, einzelne Vorkommen in einem breiten Band von Zentralspanien über die Pyrenäen nach Ostfrankreich, Mitteldeutschland, Südpolen und Rumänien bis Bulgarien. Im 19. Jahrhundert Ackerunkraut im Vogelsberg. In Hessen kommt die Art im Raum Münzenberg in der nördlichen Wetterau vor.

Ökologie: Lückige Halbtrockenrasen.

Status: RL Deutschland 1, RL Hessen 1.

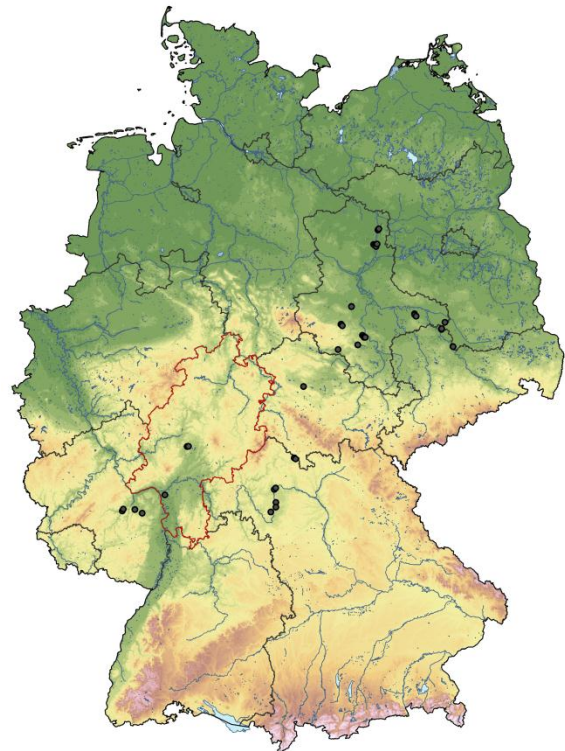


Abbildung 8: *Androsace elongata*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 6-7):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	Keine Modellierung	Keine Modellierung	Keine Modellierung	-	++	+	-
2071- 2100	Keine Modellierung	Keine Modellierung	Keine Modellierung	-	+	++	++

Die Modellierungen zeigen überwiegend eine Ausbreitung.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Nach den klimatischen Ansprüchen ist eine Arealausweitung in Hessen zu erwarten. Für die Pflanze geeignete Standorte, lückige Kalkmagerrasen, sind in Hessen großflächig vorhanden. Wahrscheinlich zeigen die dokumentierten hessischen Vorkommen nicht die Reste eines ursprünglichen flächigen Areals, sondern lokale Einbürgerungen.

Gewöhnliches Katzenpfötchen (*Antennaria dioica*)

Verbreitung: Eurasisch, in Südeuropa nur in Gebirgen. In Asien von der Türkei und dem Kaukasus bis Japan. In Deutschland in den Alpen und im Alpenvorland, in der Schwäbischen und Fränkischen Alb sowie im Hunsrück, der Eifel, im Weserbergland und im Harz. In Hessen vereinzelt in Limburg, im Raum Gießen und Wetzlar sowie im Vogelsberg. Häufigere Vorkommen in Nordhessen.

Ökologie: Mäßig trockene bis mäßig frische Silikatmagerrasen, lückige Heiden, wechselfeuchte Wiesen sowie Kiefernwälder.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

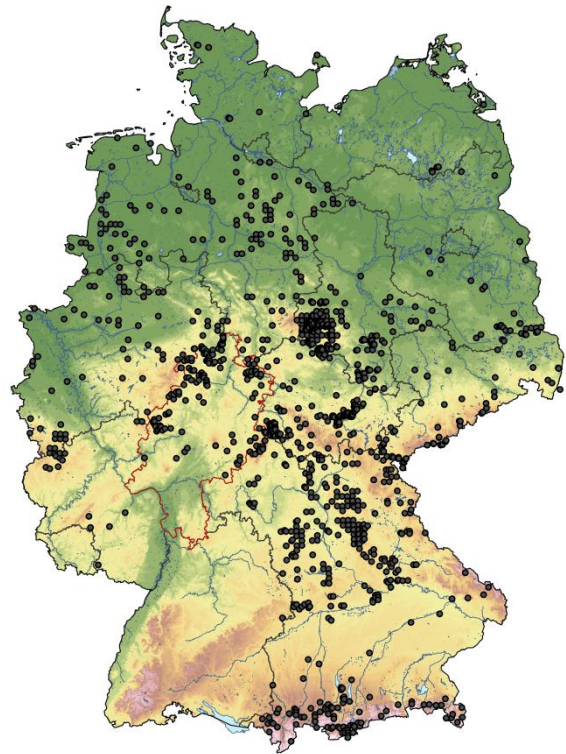


Abbildung 9: *Antennaria dioica*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 8-9):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	-	0	+
2071- 2100	--	--	--	--	+	--	++

Alle nur auf Klimadaten beruhenden Modellierungen beschreiben ein Verschwinden der Art bis 2100. Die Kombination aus Klima- und Landnutzung zeigt keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen

Die ehemals in Magerrasen weit verbreitete Pflanze ist stark rückläufig. Die genauen Ursachen des Rückgangs sind unbekannt, teilweise spielt sicher eine zu extensive Beweidung der Flächen eine Rolle. Der durch den Klimawandel bedingte Rückgang kann durch naturschutzfachliche Maßnahmen kaum aufgehalten werden. Die Aufrechterhaltung einer ausreichend intensiven Beweidung von Magerrasen ist aber für den Erhalt von *A. dioica* von entscheidender Bedeutung.

Hain-Gänsekresse (*Arabis nemorensis*)

Verbreitung: Mitteleuropa ab Rhein ostwärts, in Osteuropa von Westsibirien bis nach Gotland im Norden und auf der nördlichen Balkan-Halbinsel. In Deutschland selten. In Bayern in Franken entlang des Mains sowie um München und entlang der oberen Donau. Weitere Vorkommen am Bodensee, entlang des Rheins zwischen Karlsruhe und Mainz sowie in Sachsen-Anhalt. In Hessen nur in der Oberrheinebene.

Ökologie: Feuchte Wiesen sowie lichte Auenwälder und -gebüsche.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

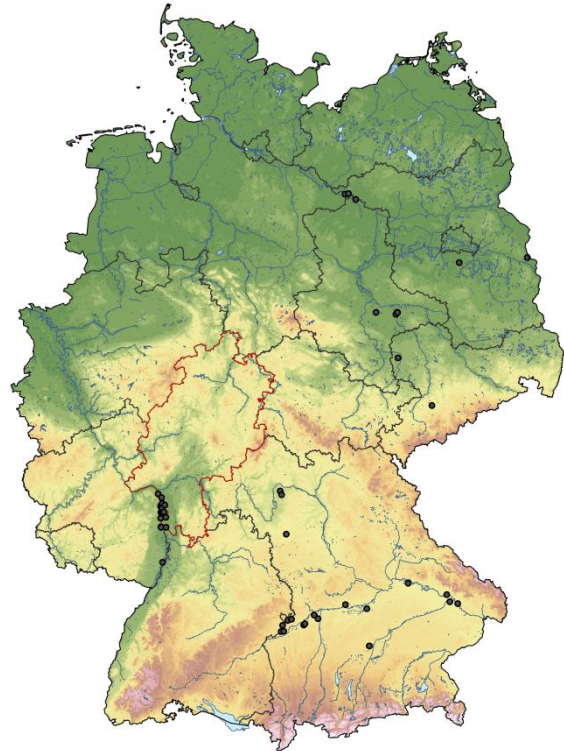


Abbildung 10: *Arabis nemorensis*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (Siehe Anhang Seite 10-11):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	++	++	-	+	0	0	0
2071- 2100	++	++	++	++	-	0	(+)

Die meisten Modelle prognostizieren eine starke Zunahme der Verbreitung bis 2100. Die Modellierungen mit Klima und Landnutzung zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf die Oberrheinebene beschränkt. Potentielle Chancen auf eine Vergrößerung der Populationen und Areale durch den Klimawandel können hier und in den Randgebieten der Oberrheinebene wegen des Fehlens entsprechend genutzter Standorte wahrscheinlich nicht genutzt werden. An den Standorten wäre eine extensive Grünlandnutzung notwendig.

Lämmersalat (*Arnoseric minima*)

Verbreitung: Subatlantisch, in Mitteleuropa, England, Skandinavien, Südrussland und auf dem Balkan. In Deutschland in Süd-Brandenburg verbreitet, in den anderen Bundesländern zerstreut bis selten vorkommend. Vorkommen existieren dort beispielsweise in der Fränkischen Alb, im Süden von Rheinland-Pfalz und Saarland. Hessischer Verbreitungsschwerpunkt heute in der Untermainebene, auch dort fast ausgestorben.

Ökologie: Mineralarme, sandige Äcker und Ackerbrachen sowie mäßig frische, sandige bis lehmige Ruderalstellen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

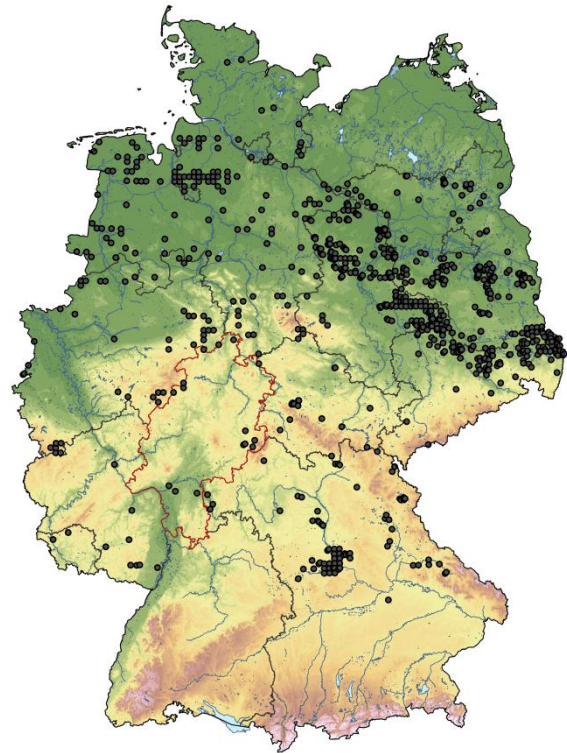


Abbildung 11: *Arnoseric minima*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 12-13):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	0	0	++	+	+	+
2071- 2100	0	0	0	++	+	+	+

Die Klima-Modellierungen zeigen bis auf ECHAM5 1 km kaum Veränderung, allenfalls eine leichte Zunahme-Tendenz. ECHAM5 1 km und die Klima/Landnutzung-Modellierungen beschreiben eine Zunahme.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Vorkommen dieses Ackerunkrauts hängt im Wesentlichen von der extensiven Nutzung basenarmer, sandiger Böden als Acker ab. Veränderungen des Klimas sind für die Verbreitung in Hessen von nachrangiger Bedeutung.

Kalk-Aster (*Aster amellus*)

Verbreitung: Von Frankreich und Norditalien nordwärts bis Mitteldeutschland und östlich bis Bulgarien, Russland und Westsibirien. In Deutschland besonders in Kalkgebieten, Nord- und Mittel-Bayern in Jura und Franken, in Baden-Württemberg in der Schwäbischen Alb und im Schwarzwald sowie im Rheintal bei Mainz in Rheinland-Pfalz. Im Südwesten Sachsen-Anhalts v.a. im Saale-Unstrut-Gebiet, in Nordrhein-Westfalen besonders in der Kalk-Eifel, in Hessen in Ost- und Südhessen.

Ökologie: Halbtrockenrasen, Trockengebüsche und -säume sowie lichte Kiefernwälder.

Status: RL Deutschland Vorwarnliste, RL Hessen 2.

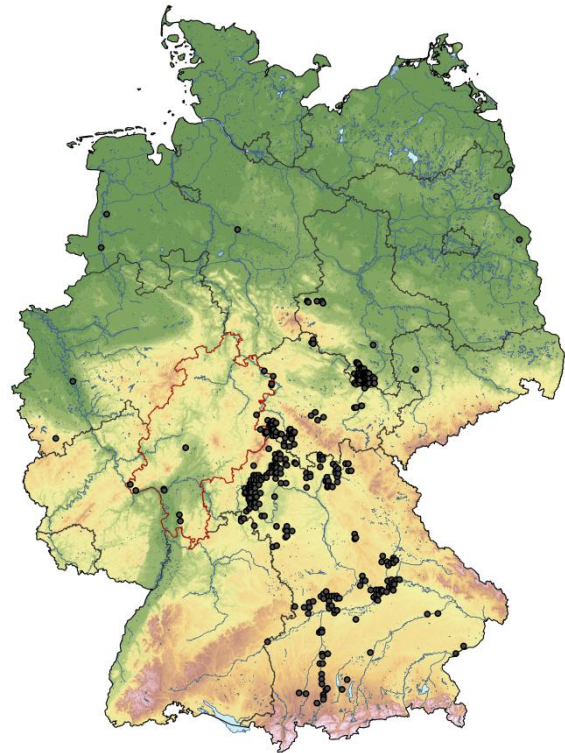


Abbildung 12: *Aster amellus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 14-15):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031-2060	-	-	-	-	+	++	0
2071-2100	0	-	+	+	0	0	-

Die Modellierungen zeigen keinen klaren Trend. Zwei Modelle (HADCM3/CCLM, ECHAM5/CCLM) zeigen eine Abnahme, während ECHAM5/REMO und ECHAM5 (1km) eine Zunahme bis 2100 beschreiben. Die Kombination aus Landnutzung und Klima sagt für ECHAM5/CCLM und HADCM3/CCLM eine Zunahme der Verbreitung bis 2050 mit anschließender Abnahme voraus. Für ECHAM5/REMO ergibt sich eine Abnahme in den Höhenlagen bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze besiedelt wärmebegünstigte Kalkmagerrasen. Es ist zu erwarten, dass für die Art zukünftig weitere Kalkmagerrasen besiedelbar werden. Kalkmagerrasen sind in Ost- und Nordhessen großflächig vorhanden. Allerdings bestehen für die Pflanze heute so gut wie keine Fernverbreitungsmöglichkeiten.

Sand-Radmelde (*Bassia laniflora*)

Verbreitung: Hauptsächlich Steppen nördlich des Schwarzen und des Kaspischen Meeres, ostwärts bis zur Mongolei. Neben einem größeren Teilareal im pannonischen Raum nur noch wenige Vorkommen an der norditalienischen Adriaküste, im südlichen Rhôneal und in der nördlichen Oberrheinebene. Aktuell nur noch Areal von <1 ha besiedelt, neben sehr kleinen Restvorkommen in Hessen noch in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg. In Hessen nur in zwei Schutzgebieten in Darmstadt-Eberstadt (Hodvina & Cezanne 2008).

Ökologie: Kalkhaltige, trockene Sand- und Steppenrasen.

Status: RL Deutschland 1, RL Hessen 2, besondere Verantwortung Hessens für Erhalt in Deutschland.

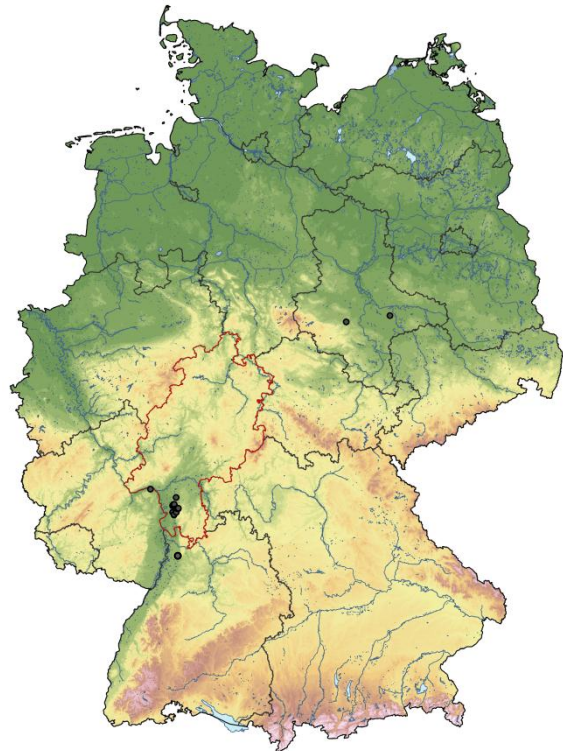


Abbildung 13: *Bassia laniflora*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 16-17):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	+	0	0	0	0
2071- 2100	++	++	++	0	--	-	--

Bis auf ECHAM5 (1 km) zeigen alle nur auf Klima beruhenden Modellierungen eine deutliche bis starke Zunahme bis 2100. ECHAM5 (1 km) dagegen weist auf eine Verlagerung der Verbreitung in die Höhenlagen hin. Die Hinzunahme der Landnutzung führt zu einer Abnahme der Verbreitung sowie einer Verlagerung in höher liegende Gebiete bis 2100 in allen Modellen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf die Oberrheinebene beschränkt. Potentielle Chancen auf eine Vergrößerung des Areals durch den Klimawandel können wegen des Fehlens entsprechend genutzter Standorte, notwendig sind offene Kalksande, wahrscheinlich nicht genutzt werden.

Ästige Mondraute (*Botrychium matricariifolium*)

Verbreitung: Boreale Nadelwaldgebiete und montane Laub- und Nadelwaldstufe der Alpen und Mittelgebirge Mittel-, Nord- und Osteuropas, westliche Verbreitungsgrenze in Nordvogesen und im Departement Haute-Loire. Aktuelle Vorkommen in Deutschland in östlichen Pleistozängebieten in Berlin, Brandenburg und Sachsen. Weiterer Schwerpunkt in Mittelgebirgen, vom Schwarzwald über den Pfälzer Wald, Spessart, Rhön, Thüringer Wald und Fichtelgebirge bis zum Bayrischen Wald. Im Spessart einziges aktuelles Vorkommen Hessens. Die Population befindet sich im Buntsandsteinspessart am Stackenberg im Joßgrund (Huck 1999).

Ökologie: Sandiger Magerrasen

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1.

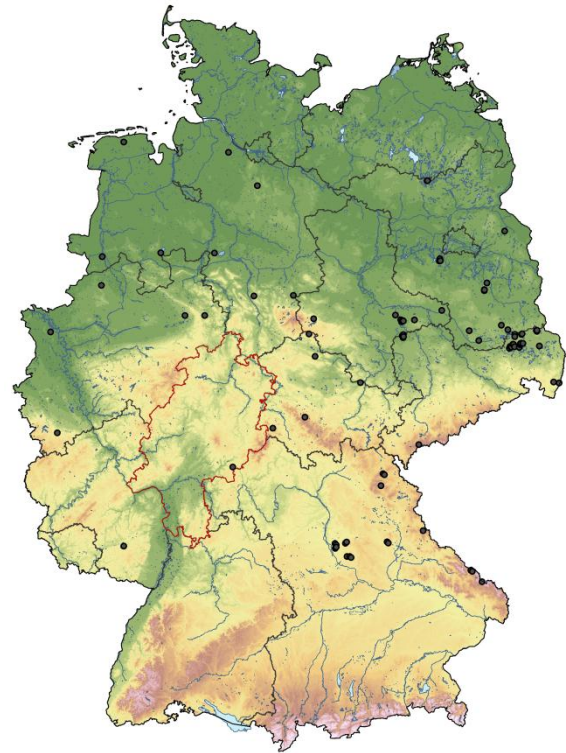


Abbildung 14: *Botrychium matricariifolium*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Herzlöffel (*Caldesia parnassifolia*)

Verbreitung: Subkontinental, oft weit voneinander getrennte Vorkommen in Europa; Südost- und Mittelfrankreich, Nord- und Mittelitalien, Süddeutschland, Österreich, baltische Staaten, Polen, Ungarn, Balkan und Russland (bis zur Wolga). In Deutschland nur noch im Charlottenhofer Weihergebiet (Landkreis Schwandorf, Bayern), in Hessen keine aktuellen Vorkommen. Früher im Raum Gießen, Hanau, Offenbach sowie in der Oberrheinebene.

Ökologie: Röhrichte an meso- bis eutrophen Weihern, Altwassern und in Gräben.

Status: RL Deutschland 1; RL Hessen 0, nach Bundesnaturschutzgesetz streng geschützt, Art der FFH-Richtlinie.

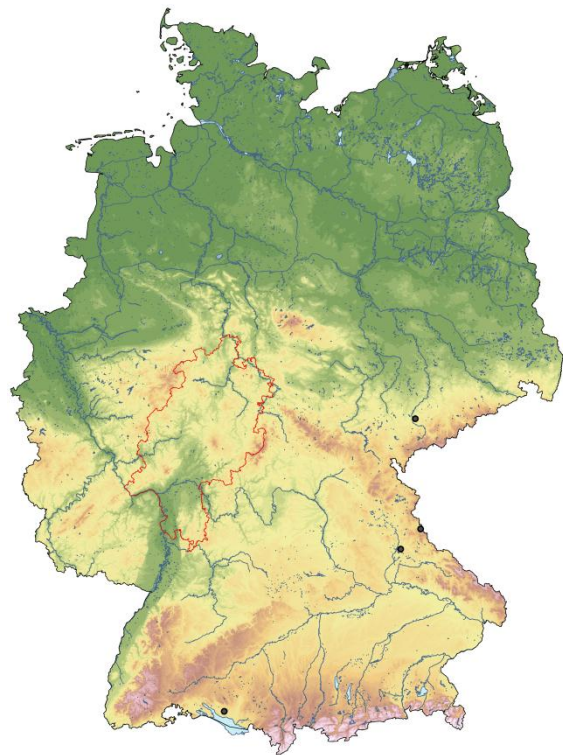


Abbildung 15: *Caldesia parnassifolia*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Lanzenblättrige Glockenblume (*Campanula baumgartenii*)

Verbreitung: Mitteleuropäischer Endemit, in Hessen kleines Areal am Nordwesthang des Hochtaunus, das von Glashütten und Oberursel über Nieder- und Oberreifenberg bis Arnoldshain reicht. Weiterhin davon isoliertes Vorkommen nahe der Hohen Mark bei Oberursel. Neben den hessischen Vorkommen deutlich größeres Areal vom Pfälzer Bergland bis ins angrenzende Lothringen.

Ökologie: Azidophile Laub- und Nadelwälder (Kornek et al. 1999), im Taunus Grünland (Buttler & Hodvina 2002). Wenige Vorkommen im Wald ohne direkten Wiesenbezug. Insgesamt optimale Entwicklung auf bewirtschafteten Wiesen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen Vorwarnliste.

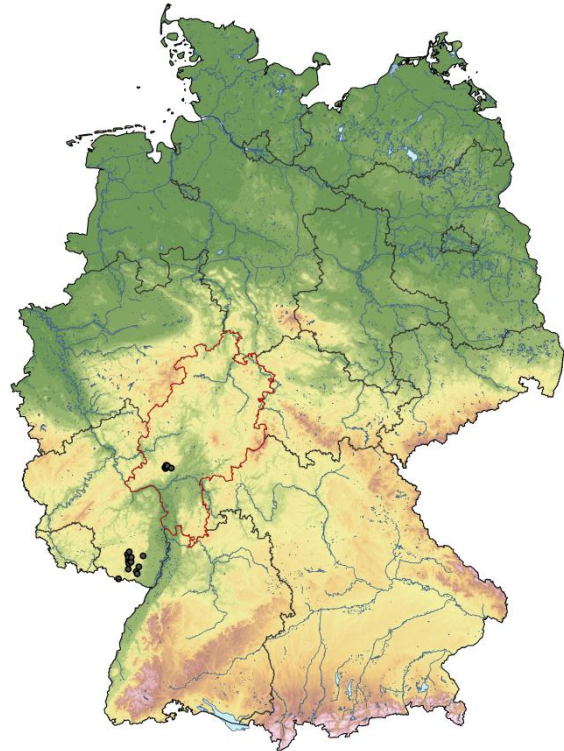


Abbildung 16: *Campanula baumgartenii*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 18-19):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	Keine Modellierung	Keine Modellierung	Keine Modellierung	--	-	-	--
2071- 2100	Keine Modellierung	Keine Modellierung	Keine Modellierung	--	--	--	--

Wegen der sehr engräumigen Verbreitung ist nur eine Modellierung mit Daten sehr hoher Auflösung möglich. ECHAM5 (1 km) sowie alle Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten prognostizieren ein (annäherndes) Verschwinden der Art in Hessen bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Campanula baumgartenii ist auf Grünland des Taunus beschränkt. Die recht hochwüchsige Pflanze dürfte in der Lage sein, auch bei einer Verlängerung der Vegetationsperiode und damit verbundener stärkerer Wüchsigkeit des Grünlandes zu überdauern. Voraussetzung dafür ist eine konsequente Beibehaltung oder Wiedereinführung extensiver, mit substanzieller Abschöpfung der Nährstoffe verbundener Grünlandnutzung im Verbreitungsgebiet der Pflanze um Oberreifenberg.

Borstige Glockenblume (*Campanula cervicaria*)

Verbreitung: In Europa von Südnorwegen und Karelien im Norden bis Mittelitalien und Bulgarien im Süden sowie vom französischen Zentralmassiv bis zum Baikalsee. In Deutschland selten, Schwerpunkt in Bayern, besonders Franken und Ammergebirge. In Hessen aktuell im Raum Gießen-Fulda, im unteren Vogelsberg und in der Rhön.

Ökologie: Lichte, frische Laub- und Nadelwälder und deren Säume sowie moorige Wiese.

Status: RL Deutschland 1, RL Hessen 2, nach Bundesartenschutzgesetz besonders geschützt.

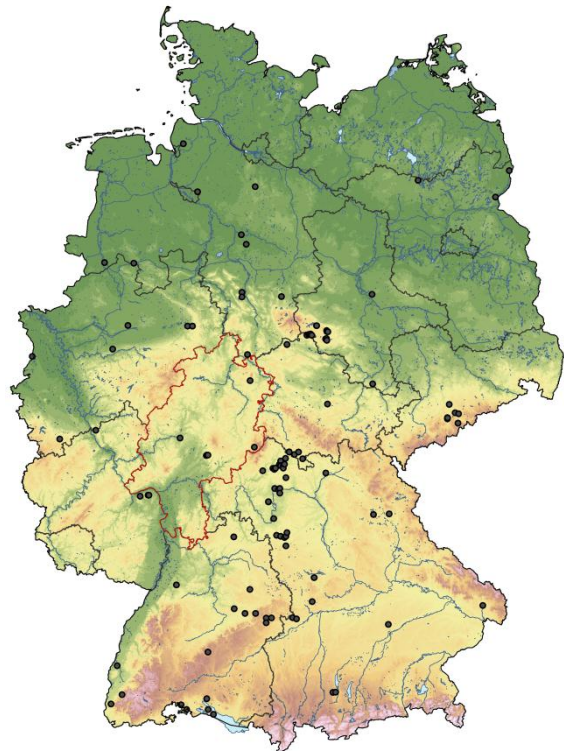


Abbildung 17: *Campanula cervicaria*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 20-21)

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	--	-	0	0	-	--
2071- 2100	--	--	--	-	--	--	--

Nahezu alle Modellierungen sagen ein Verschwinden der Art in Hessen voraus. Nur ECHAM5 (1 km) zeigt noch ein mögliches Vorkommen der Art bis 2100 an.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Campanula cervicaria ist eine typische Pflanze offener, wärmebegünstigter Wälder und wurde durch Waldweide gefördert. Nach Aufgabe dieser Nutzungsform und der fast flächendeckenden Einführung der Hochwaldwirtschaft ist die Pflanze extrem rückläufig. Klimaveränderungen dürften für das Vorkommen der Pflanze in Hessen eher eine geringe Rolle spielen. Aus botanischer Sicht dürfte *C. cervicaria* potentiell durch den Klimawandel begünstigt werden.

Faden-Segge (*Carex lasiocarpa*)

Verbreitung: Zirkumpolar-nordisch, in gemäßigten bis borealen Zonen Eurasiens und Nordamerikas. In Europa nur in Südeuropa fehlend. In Deutschland in Süd-Bayern in den Alpen und im Alpenvorland weit verbreitet, weiterhin in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Teilen Niedersachsens. Sonst zerstreut bis selten. Kleinere Vorkommen z.B. im Pfälzer Wald, Nordpfälzer Bergland oder Eifel. In Hessen in der Wetterau sowie südlich Frankfurt im Raum Neu-Isenburg und Mörfelden.

Ökologie: Staunasse, zeitweilig flach überflutete Zwischenmoore und Hochmoorränder, Schwingrasen und Großseggenriede, Verlandungsbereich mesotropher, stehender Gewässer.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

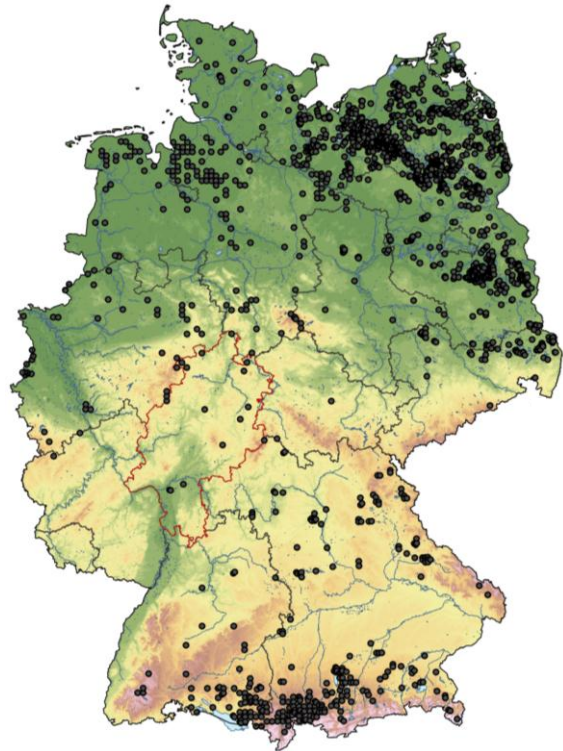


Abbildung 18: *Carex lasiocarpa*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 22-23):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	0	-	0	0	0	(-)
2071- 2100	0	0	0	0	0	0	(-)

Fast alle Modellierungen zeigen kaum Veränderungen bis 2100. Nur die Kombination aus Landnutzung und ECHAM5/REMO verzeichnet eine Abnahme der Verbreitung in den Höhenlagen bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Prognose ist für die Zwischenmoorart negativ, insbesondere dürfte die Pflanze durch längere Trockenphasen geschädigt werden. Die verbliebenen Moore mit Vorkommen der Pflanze bedürfen des besonderen Schutzes, insbesondere in Hinblick auf eine Stabilisierung des Wasserhaushaltes.

Dolden-Winterlieb (*Chimaphila umbellata*)

Verbreitung: Eurasisch-kontinental, Gebiet verläuft von Nordost nach Südwest durch Deutschland, Arealgrenze im Elsass und in der nördlichen Schweiz. Hauptverbreitung vom östlichen Mitteldeutschland über Polen, Weißrussland und Baltikum bis zum Ural sowie südliche Teile Skandinaviens. In Deutschland in nahezu allen westlichen Bundesländern ein starker Rückzug. Früher in Kiefernangebieten in Süd- und Osthessen weit verbreitet. Heute nur noch wenige Restbestände in der nördlichen Untermainebene.

Ökologie: (Weißmoos-) Kiefernwälder.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1, nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

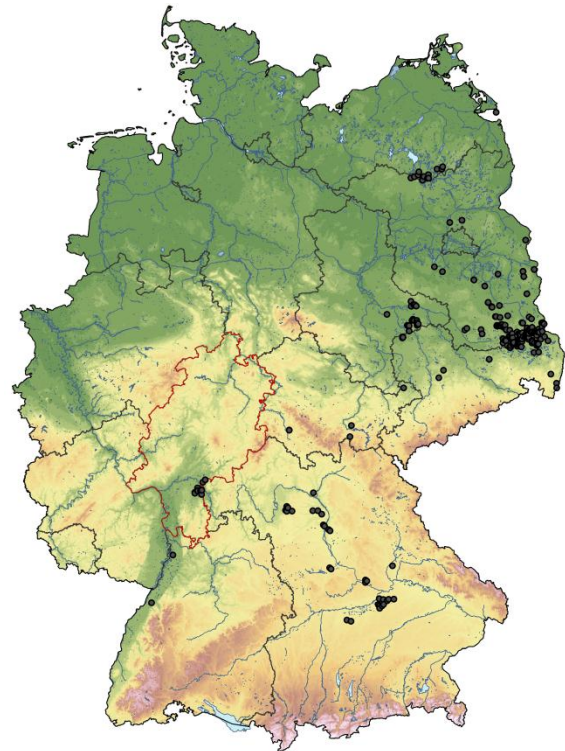


Abbildung 19: *Chimaphila umbellata*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 24-25):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	+	+	+	-	+	++
2071- 2100	++	--	++	++	-	-	++

Bis auf HADCM3/CCLM zeigen alle reinen Klima-Modellierungen eine starke Zunahme bis 2100. HADCM3/CCLM beschreibt eine Zunahme bis 2050 mit anschließendem fast völligem Verschwinden. Die Klima/Landnutzung-Modellierungen sagen bis auf ECHAM5/REMO ein annäherndes Verschwinden der Art bis 2010 voraus. ECHAM5/REMO dagegen zeigt zusammen mit Landnutzung eine starke Zunahme der Verbreitung bis 2100. In dieser Prognose sind nur die Höhenlagen in der Verbreitung ausgeschlossen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Winterlieb ist auf Kiefern-Aufforstungen auf Kalkböden beschränkt, wobei die Bestände nach einigen Jahrzehnten erlöschen. Änderungen des Klimas sind für das Vorkommen der Pflanze in Hessen von untergeordneter Bedeutung.

Brenndolde (*Cnidium dubium*)

Verbreitung: Kontinental, Schwerpunkt von der Ukraine bis zum Ural sowie Westsibirien. Westlich davon zerstreute Vorkommen von Südschweden über Dänemark, das Elbtal und das Oberrheingebiet bis Ungarn. Westlicher Arealrand in Hessen, dort schon immer selten, nur im nördlichen Ried und Mönchsbruchgebiet. Nur noch in Naturschutzgebieten, größte hessische Vorkommen im Bereich des Mönchbruchs (Hodvina & Cezanne 2004).

Ökologie: Unbeschattete, wechsellasse oder zeitweise überflutete, nährstoffarme Standorte wie ungedüngte Auenwiesen der Tieflagen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

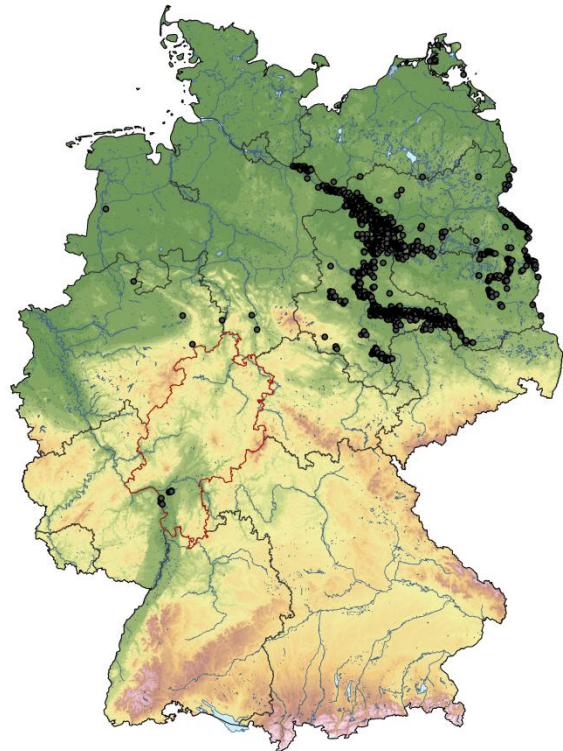


Abbildung 20: *Cnidium dubium*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 26-27):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	++	0	++	++	++	++
2071- 2100	++	+	++	++	(-)	+	(-)

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine starke Zunahme der Verbreitung bis 2100. Die Modellierungen, die zusätzlich Landnutzungsdaten berücksichtigen, beschreiben zuerst eine Ausbreitung der Art bis 2050 mit anschließender leichter Abnahme.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf wechselfeuchtes Grünland der Oberrheinebene beschränkt. Die Entwicklung dieses Grünland-Typs dürfte durch eine Erwärmung des Klimas potentiell rückläufig sein. Der Schutz der verbliebenen, sehr kleinflächigen Bestände sollte hohe Priorität haben.

Hohlzunge (*Coeloglossum viride*)

Verbreitung: Eurosibirisch-nordamerikanisch, Nordgrenze zieht sich durch Island, Skandinavien, Sibirien und Nordamerika. Südgrenze verläuft durch Südspanien, Süditalien, Peloponnes, Nordtürkei, Krim und Kaukasus. In Deutschland verbreitet in Süd-Bayern in den Alpen und am Starnberger See. Sonst zerstreut bis selten. Vorkommen z.B. in der Fränkischen Schweiz, im Thüringer Becken, im Harz, in der Schwäbischen Alb sowie im Oberrheingraben und Nordpfälzer Bergland.

Ökologie: Mäßig trockene bis wechselfrische, extensiv genutzte Silikatmagerrasen und Wiesen, Halbtrockenrasen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

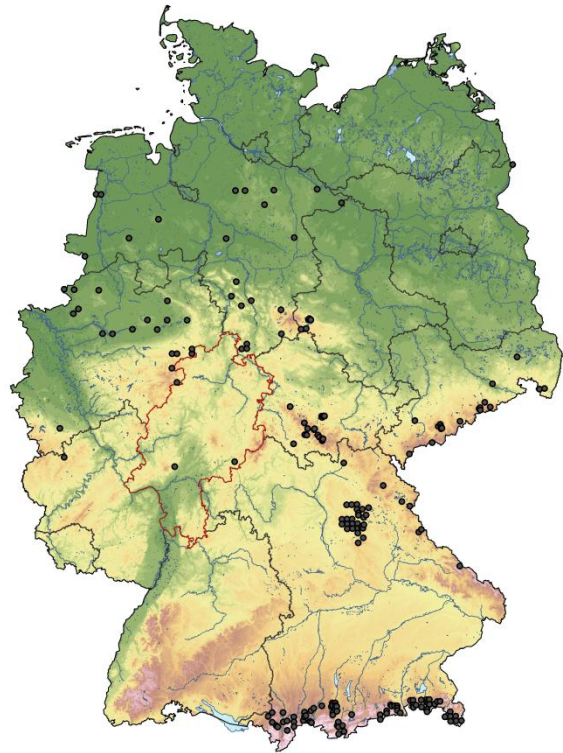


Abbildung 21: *Coeloglossum viride*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Wald-Hundszunge (*Cynoglossum germanicum*)

Verbreitung: Viele kleine Arealinseln, von Südengland und den Pyrenäen über die Westalpen, Balkan, Karpaten, Krim und Kleinasien bis in den Kaukasus. In Deutschland im südlichen Harzvorland, Weserbergland, Nordhessen, Rhön, Eifel, Pfälzer Wald und Schwäbische Alb. In Hessen zwischen Zierenberg und Warburg, im Habichtswald, im Ederseegebiet, bei Bad Wildungen, im Kellerwald, in Herzberg östlich Alsfeld sowie in Langenberg westlich Großenritte und Rhön zw. 280 und 760 m.

Ökologie: Schlagflächen und Waldränder, typisch entwickelte Waldgesellschaften, v.a. in Blockschuttwäldern.

Status: Ungefährdet.

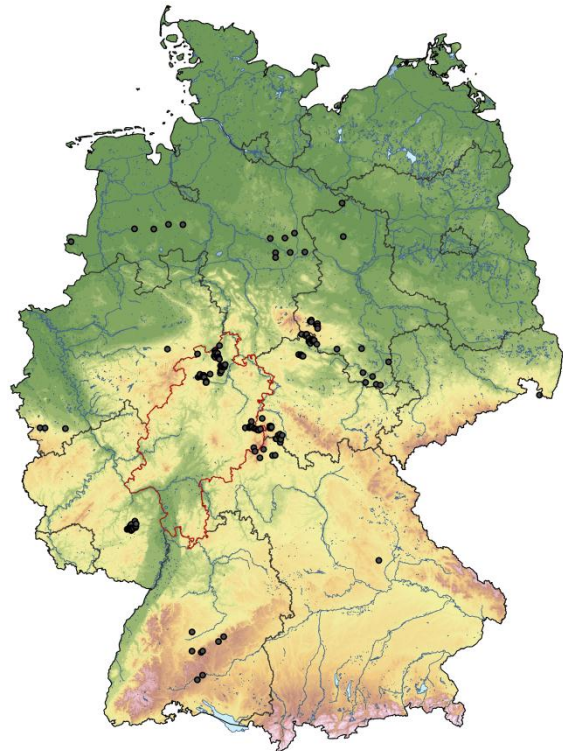


Abbildung 22: *Cynoglossum germanicum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 28-29):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen sagen ein Verschwinden der Art bis 2100 voraus.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze bewohnt sehr lokal Waldschlaggesellschaften. Aus botanischer Sicht ist es nicht nachvollziehbar, warum diese recht hochwüchsige Pflanze durch den Klimawandel zurückgehen sollte.

Fleischrotes Knabenkraut (*Dactylorhiza incarnata*)

Verbreitung: Ganz Europa, ostwärts durch Sibirien und Zentralasien, südliche Grenze verläuft in Spanien, Süditalien, Nordgriechenland, Nordtürkei und Krim. In Deutschland verbreitet in den Alpen und im Alpenvorland sowie in Südost-Baden-Württemberg. Sonst zerstreut bis selten. In Hessen in der Wetterau sowie in Süd- und Südost-Hessen. Vorkommen u.a. in den Naturschutzgebieten Mönchbruchwiesen, Bruderlöcher und Enkheimer Ries sowie in den Silzwiesen in Darmstadt.

Ökologie: Nasse bis wechsellasse Wiesen, lückige Röhrichte, feuchte Küstendünetäler, Nassflächen in Tagebauen, Moor- und Feuchtgebüsche.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, nach dem Bundesartenschutzgesetz besonders geschützt.

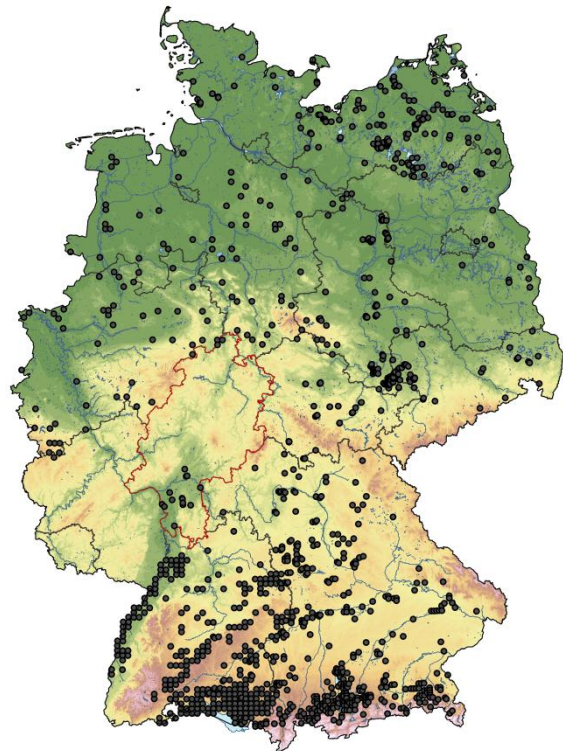


Abbildung 23: *Dactylorhiza incarnata*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 30-31):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	++	++	++	++	++	+	++
2071- 2100	++	++	++	++	++	+	++

Die reinen Klimamodellierungen zeigen alle eine starke Ausbreitung der Art bis 2100. ECHAM5//CCLM, HADCM3/CCLM und ECHAM5/REMO sagen dabei erstaunlicherweise eine fast vollständige Besiedlung Hessens voraus. Die Kombination aus Klima und Landnutzung prognostiziert ebenfalls eine Zunahme der Verbreitung, jedoch in geringerem Umfang.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Dactylorhiza incarnata bewohnt Flachmoorgrünland in wärmebegünstigten Gebieten. Zwar wird die Pflanze durch den Klimawandel gefördert, andererseits nimmt die Grünlandnutzung von Flachmoorstandorten stetig ab. Es bedarf energischer Anstrengungen des Naturschutzes, um den heutigen Bestand langfristig zu erhalten.

Diptam (*Dictamnus albus*)

Verbreitung: In Europa im Westen bis Mittelspanien, Ost-Frankreich und Westdeutschland, im Osten bis zum Schwarzen Meer. Nördlich bis Mittel-Deutschland (süd-niedersächsisches Hügelland, südliches Sachsen-Anhalt) und südlich bis Süditalien und Griechenland. In Deutschland zerstreut in Mittel- und Nordbayern an der Donau, Süd-Jura und Franken sowie Ost-Rheinland-Pfalz, Nord-Thüringen und Südwest-Sachsen-Anhalt. Selten in Wärmegebieten in Baden-Württemberg, Süd- und Nordost-Hessen und Süd-Thüringen zu finden.

Ökologie: Trockengebüschsäume, Trockenwälder.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2, nach der Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

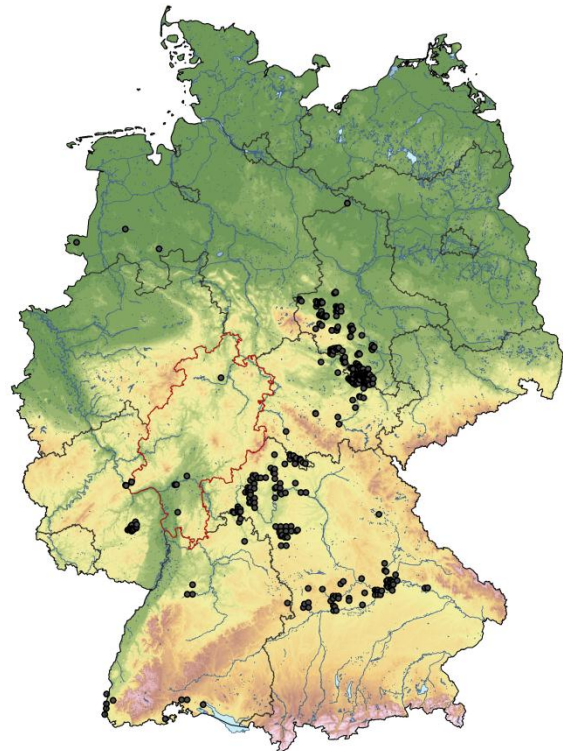


Abbildung 24: *Dictamnus albus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (Siehe Anhang Seite 32-33):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	++	++	+	++	++	++	+
2071- 2100	++	++	++	++	++	++	++

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine deutliche Zunahme der Verbreitung bis 2100. Bei ECHAM5/REMO und ECHAM5 (1 km) sieht man, dass sich die Ausbreitung nicht auf die Höhenlagen ausdehnt. Auch die Klima-Landnutzungs-Modellierungen weisen auf eine Ausdehnung der Verbreitung bis 2100 hin. Dabei wird ebenfalls eine Besiedlung der Höhenlagen als unwahrscheinlich angegeben.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Der Diptam wird potentiell durch den Klimawandel begünstigt. Allerdings ist die Pflanze in Mitteleuropa an aussterbende Waldnutzungen wie Waldweide, Mittel- und Niederwaldwirtschaft gebunden. Dies sind Faktoren, die für das Überleben der Art wahrscheinlich wichtiger sind als Klimaveränderungen und auch von den Landnutzungsmodellen möglicherweise nicht adäquat berücksichtigt werden.

Nordischer Augentrost (*Euphrasia frigida*)

Verbreitung: Boreal-montan, Hauptareal von Westsibirien über Skandinavien, Schottland, Irland, Island, Spitzbergen und Grönland bis Ostkanada. In mehreren mitteleuropäischen Mittelgebirgen einige weit abgesetzte Vorkommen von Belgien über Deutschland bis nach Tschechien. In Hessen Vorkommen im Spessart, im Hochtaunus sowie im Vogelsberg und in der Hohen Rhön. Mehr als die Hälfte aller bekannten deutschen Fundorte liegen in Hessen.

Ökologie: Extensiv genutztes, in der Regel ungedüngtes Grünland. In Hessen magere, überwiegend ungedüngte, einschürige Mähwiesen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, besondere Verantwortung Hessens für die Erhaltung der Art.

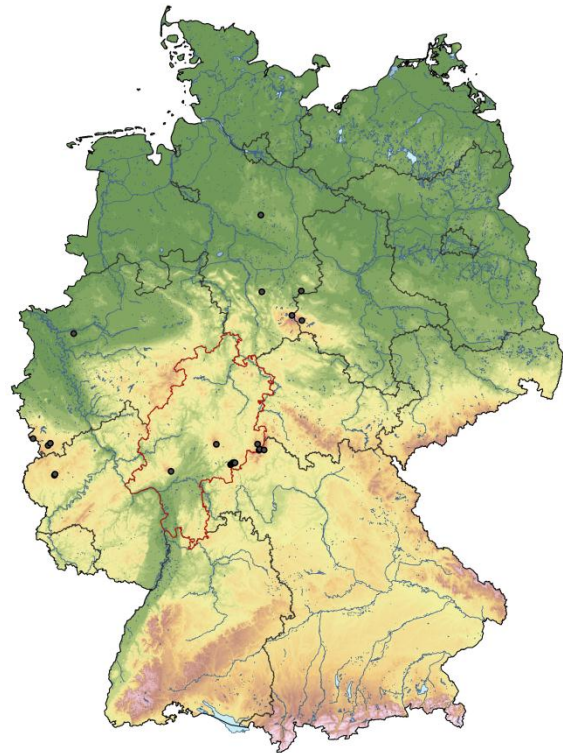


Abbildung 25: *Euphrasia frigida*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 34-35):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	+	-	--	-	--
2071- 2100	-	--	-	--	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen eine Abnahme der Verbreitung bis 2100. Bei ECHAM5 (1 km) und teilweise bei den Landnutzung einschließenden Modellierungen ist ein Rückzug in immer höhere Gebiete zu erkennen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Der Nordische Augentrost ist auf extensiv genutztes Grünland der Hochlagen beschränkt. Als konkurrenzschwache, kleinwüchsige Pflanze dürfte er von einer längeren Vegetationsperiode und dadurch bedingter stärkerer Wüchsigkeit des Hochlagengrünlands besonders betroffen sein. Nicht nur wegen dieser Art sollte die Erhaltung extensiv genutzten Grünland im Wasserkuppen-Gebiet eine hohe Priorität haben.

Duvals Schaf-Schwingel (*Festuca duvalii*)

Verbreitung: Mitteleuropäischer Endemit, dessen Verbreitungsareal vornehmlich die Oberrheinebene und ihre Randbereiche umfasst sowie östlich davon das Schweinfurter Trockengebiet. In Hessen sind Vorkommen von *Festuca duvalii* auf kalkreiche Sande der nördlichen Oberrheinebene um Darmstadt beschränkt.

Ökologie: Trockenrasen auf kalkhaltigen Sanden, aber auch, v.a. außerhalb Hessens, auf flachgründigen Felsböden.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 3, besondere Verantwortung Hessens für den Erhalt in Deutschland.

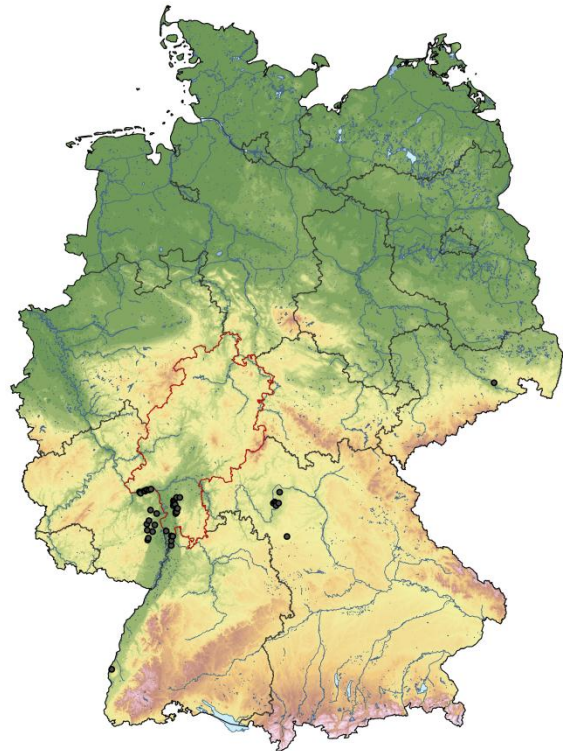


Abbildung 26: *Festuca duvalii*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 36-37):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	+	+	0	0	0
2071- 2100	++	++	+	+	-	-	-

Die Modellierungen, die nur auf Klimadaten beruhen, zeigen eine Ausdehnung der Verbreitung. Bei ECHAM5/REMO wird für 2100 ein leichter Rückgang der Verbreitung im Vergleich zu 2050 vorausgesagt. ECHAM5 (1 km) beschreibt eine Verlagerung des Verbreitungsgebiets in die Höhenlagen der Rhön bis 2100. Eine Einbeziehung der Landnutzung führt in den Modellierungen zu einem (fast) völligen Verschwinden der Art bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf Kalksandrasen der Oberrheinebene beschränkt. Potentielle Chancen auf eine Vergrößerung des Areals durch den Klimawandel können wegen des Fehlens entsprechend genutzter Standorte, notwendig sind offene Kalksande, wahrscheinlich kaum genutzt werden.

Zwergsonnenröschen (*Fumana procumbens*)

Verbreitung: Hauptverbreitung von Nordost-Spanien, Südfrankreich, Italien, Kroatien bis nach Griechenland. In Deutschland in wärmebegünstigten Gegenden. In Baden-Württemberg wenige Vorkommen im Kaiserstuhl und in der Oberrheinebene zwischen Mannheim und Walldorf, in Rheinland-Pfalz um Bad Dürkheim und auf dem Mainzer Sand, in Nordrhein-Westfalen im Weserbergland, in Thüringen bei Eisenach, am Harzrand und Kyffhäuser, in Sachsen-Anhalt im Saale-Unstrut-Gebiet und in Bayern v.a. auf der Fränkischen Alb. In Hessen neben den Vorkommen aus dem Rhein-Main-Gebiet auch ein Vorkommen in Nord-Hessen (Hodvina & Cezanne 2007).

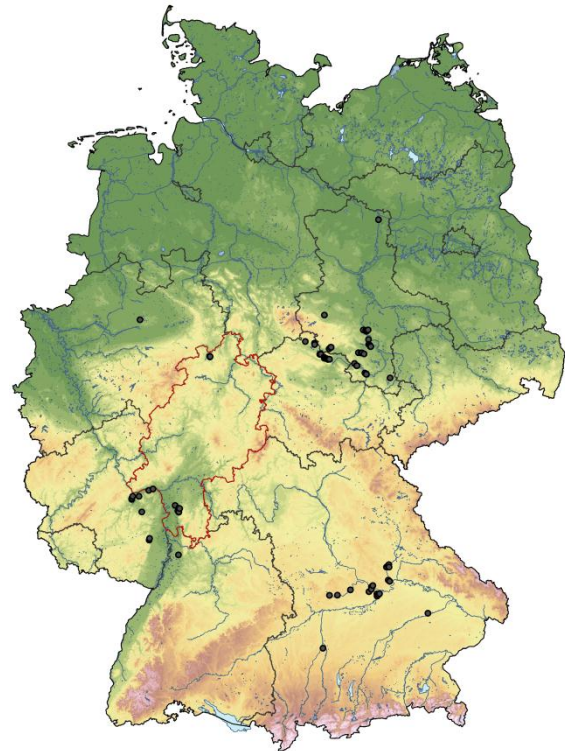


Abbildung 27: *Fumana procumbens*, Verbreitung in Deutschland.

Ökologie: In Nordhessen im Enzian-Schillergrasrasen, in Südhessen in Sand- und Steppenrasen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

Modellierung (siehe Anhang Seite 38-39):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	0	0	0	--	--	+
2071- 2100	0	0	0	(-)	--	--	-

Die reinen Klima-Modellierungen zeigen keine Veränderung. Die Einbeziehung der Landnutzung führt praktisch zum Verschwinden der Art bis 2100. Nur Landnutzung mit ECHAM5/REMO sagt bis 2050 erst eine Zunahme mit anschließender starker Abnahme bis 2100 voraus.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Zwerg-Sonnenröschen ist in Hessen ursprünglich auf Kalksandrasen der Oberrheinebene beschränkt. Aus botanischer Sicht hätte die Art potentielle Chancen auf eine Vergrößerung des Areals durch den Klimawandel. Diese können wegen des Fehlens entsprechend genutzter Standorte, notwendig sind offene Kalksande, wahrscheinlich nicht genutzt werden.

Breitblättriger Hohlzahn (*Galeopsis ladanum*)

Verbreitung: In Europa geschlossenes Areal, Nordgrenze in Südkandinavien bei ca. 62° nördl. Breite. Südlich von den Pyrenäen über Süditalien bis Bulgarien. In Deutschland zerstreut in Nord- und Ost-Bayern, Südost-Thüringen und Harz, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Nordwest-Hessen. In Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen sehr selten. Ursprünglich in waldfreien Gebirgen verbreitet, Ausbreitung in tiefere Lagen durch Ackerbau.

Ökologie: Sandige oder skelettreiche Äcker, selten auch in Felsen.

Status: RL Deutschland ungefährdet, RL Hessen 2.

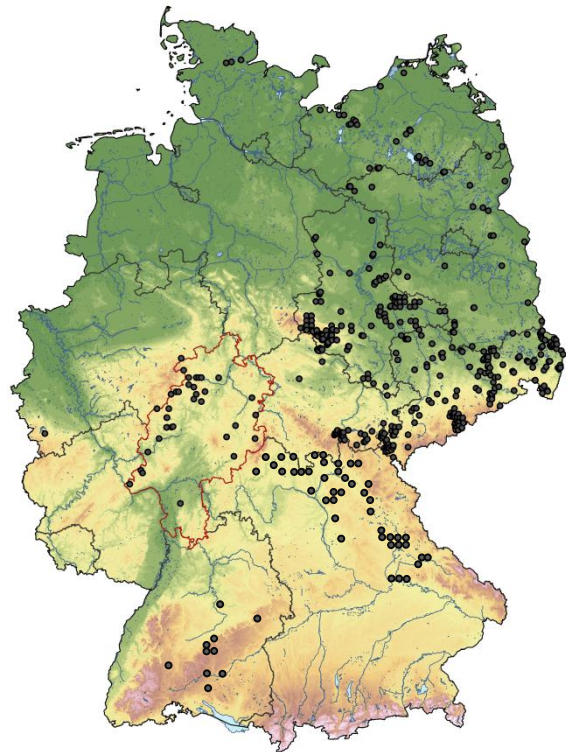


Abbildung 28: *Galeopsis ladanum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 40-41):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	+	+	+
2071- 2100	--	--	--	-	+	+	+

Die Modellierungen nur mit Klimadaten prognostizieren einen starken Rückgang bis zum Verschwinden der Art bis 2100. Eine Kombination aus Klima- und Landnutzungsdaten deutet auf eine kleinräumige Ausbreitung hin. Demnach scheint es begrenzte Gebiete zu geben, in denen die Art geeignete Klima- und Landnutzungsbedingungen findet, um sich auszubreiten.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Vorkommen dieses Ackerunkrauts hängt im Wesentlichen von der extensiven Nutzung basenarmer, sandiger Böden als Acker ab. Veränderungen des Klimas sind für die Verbreitung in Hessen von nachrangiger Bedeutung.

Kreuz-Enzian (*Gentiana cruciata*)

Verbreitung: im Westen von Pyrenäen über Süd- und Mitteleuropa bis West-Sibirien und zum Kaukasus. Nördlich bis ca. 59° Breitengrad, südlich bis Apennin und dalmatische Gebirge. In Deutschland zerstreut in Bayern und Baden-Württemberg, im Osten Nordrhein-Westfalens und in Thüringen. Vorkommen z.B. in der Schwäbischen und Fränkischen Alb und Franken. In Rheinland-Pfalz, Südwest-Nordrhein-Westfalen, Hessen, Sachsen-Anhalt, Mittel- und Nordost-Brandenburg, Südost-Niedersachsen und Süd-Mecklenburg-Vorpommern nur selten.

Ökologie: Halbtrockenrasen, Kiefern-Trockenwälder und ihren Säume.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2, nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

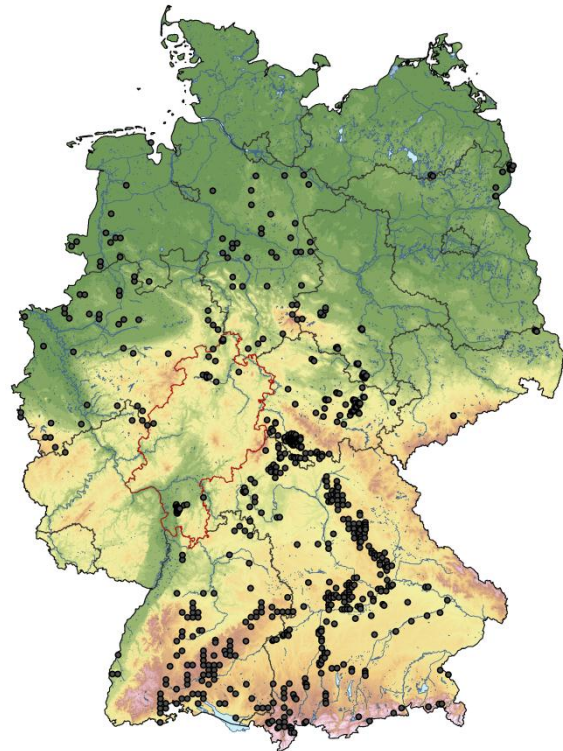


Abbildung 29: *Gentiana cruciata*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 42-43):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	0	0	+	0
2071- 2100	--	--	--	(+)	+	-	+

Die meisten Klima-Modellierungen sagen eine starke Abnahme der Verbreitung voraus. Nur ECHAM5 (1 km) prognostiziert eine starke Verlagerung des Verbreitungsgebietes mit leichter Ausbreitung, zuerst Richtung Nordhessen und dann zum Westerwald. Die Klima/Landnutzung-Modellierungen zeigen ebenfalls eine Verlagerung des Verbreitungsgebietes in höhere Regionen, v.a. in den Westerwald, teilweise auch in die Regionen Vogelsberg und Rhön (ECHAM5/REMO). HADCM3/CCLM mit Landnutzung beschreibt eine starke Zunahme der Verbreitung 2050 in Westerwald und Vogelsberg mit anschließender starker Abnahme bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Als Pflanze wärmebegünstigter Kalkmagerrasen sollte der Kreuz-Enzian von einer Erwärmung des Klimas profitieren. Ausbreitungsmöglichkeiten sind aber heute nur noch sehr beschränkt vorhanden.

Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*)

Verbreitung: Eurasisch-atlantisch, von der iberischen Halbinsel über Mittelengland, Südschweden und das Baltikum bis weit nach Zentralasien. In Deutschland zwei Hauptverbreitungsgebiete: eines im Alpenvorland, das zweite im norddeutschen Tiefland. Im Mittelgebirgsraum weitgehend fehlend. Nur noch wenige Fundstellen in Südhessen. In Hessen weniger als 1 ha besiedelt und 98% der Fläche liegen in den beiden Naturschutzgebieten Mönchsbruch und Wächterstadt (Hodvina & Cezanne 2010).

Ökologie: Nord-Hessen feuchte Borstgrasrasen, im Süden Pfeifengraswiesen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 1.

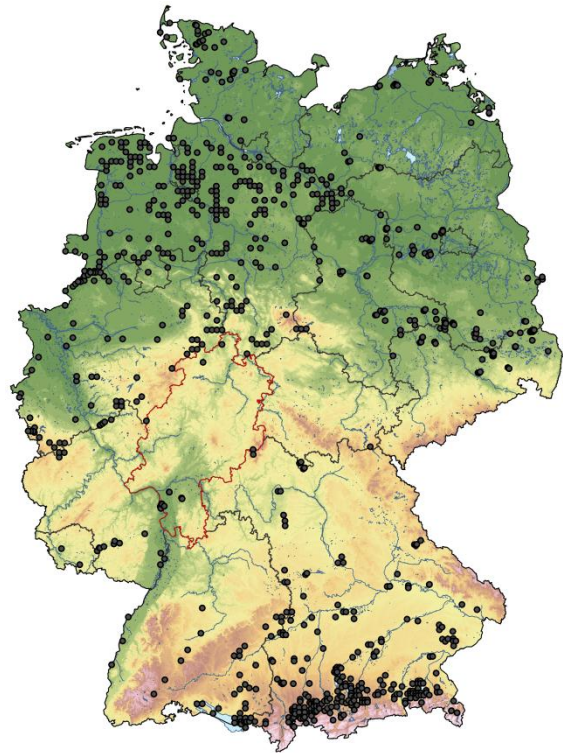


Abbildung 30: *Gentiana pneumonanthe*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 44-45):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	0	+	++	--	--	-
2071- 2100	+	+	++	+	+	--	++

Alle Modellierungen mit ausschließlich Klimadaten zeigen eine Zunahme der Verbreitung. Bei ECHAM5/CCLM und ECHAM5/REMO ist diese Zunahme stark, bei HADCM3/CCLM weniger stark und bei ECHAM5 (1 km) findet nach 2050 wieder eine Abnahme statt. Klima und Landnutzung ergeben zusammen eine Abnahme der Verbreitung. Nur ECHAM5/REMO mit Landnutzung sagt für 2100 eine mögliche Ausbreitung in andere Gebiete voraus.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf wechselfeuchtes Grünland der Oberrheinebene beschränkt. Derartiges Grünland dürfte durch eine Erwärmung des Klimas potentiell rückläufig sein. Der Schutz der verbliebenen, sehr kleinflächigen Bestände sollte hohe Priorität haben.

Feld-Enzian (*Gentianella campestris*)

Verbreitung: Im Norden bis Island und Skandinavien, östlich bis ins Baltikum sowie west- und südlich bis Pyrenäen und Apennin. In Deutschland inselartig verbreitet. Verbreitungsschwerpunkt im Schwarzwald und in den Alpen sowie Mittelgebirge, östliche Rheinische Schiefergebirge bis zum Harz und vom Thüringer Wald bis zur Oberlausitz. Vorkommen in Deutschland stark zurückgegangen. Besiedelt nur noch einen Bruchteil seiner ehemaligen Vorkommen in Hessen (Brunzel 2012).

Ökologie: Nordhessen: Kalkstandorte mit durch hohe Niederschläge oberflächlich versauerten Verwitterungsböden. Mittel- und Osthessen: bodensaure, aber basenreiche Magerrasen über Schiefer, Diabas oder Basalt (Brunzel 2012).

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2, nach Bundesnaturschutzgesetz besonders geschützt.

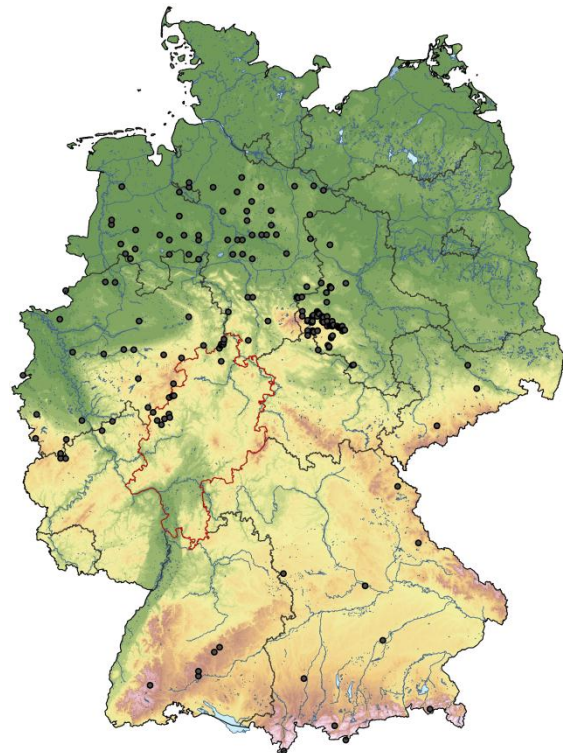


Abbildung 31: *Gentianella campestris*, Verbreitung in Deutschland. Eine Überprüfung der Funddaten ergab, dass die Fundorte in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen nicht mehr aktuell sind.

Modellierung (siehe Anhang Seite 46-47):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031-2060	-	--	--	+	0	+	+
2071-2100	--	--	--	++	(+)	+	0

Die Klima-Modellierungen zeigen bis auf ECHAM5 (1 km) eine Abnahme der Verbreitung. ECHAM5 (1 km) dagegen sagt eine Zunahme der Verbreitung voraus. Die Ergebnisse der Klima/Landnutzung-Modellierungen fallen unterschiedlich aus. ECHAM5/CCLM mit Landnutzung beschreibt für 2100 mögliche neue Verbreitungsgebiete, HADCM3/CCLM dagegen eine mögliche Verbreitung 2050 im Odenwald und eine Ausbreitung im Westerwald 2100. ECHAM5/REMO Zunahme bis 2050 mit anschließender Abnahme.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf basenreiche, meist kalkarme Magerrasen beschränkt. Die Pflanze ist stark rückläufig. Die Ursachen des Rückgangs sind unverstanden, hängen aber eventuell mit Klimaveränderungen zusammen.

Einknolle, Elfenstendel (*Herminium monorchis*)

Verbreitung: Im Norden bis Südengland und Südschweden, im Süden durch Frankreich, Italien, Bulgarien und Kaukasus. Ostwärts bis zu den ostasiatischen Küsten. In Deutschland zerstreut in den Alpen und im Alpenvorland sowie in der Schwäbischen Alb. Selten in Nordwest-Rheinland-Pfalz, Süd- und Ost-Nordrhein-Westfalen, Hessen, Süd-Thüringen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern zu finden. In Hessen im Kinzig-Gebiet sowie im Raum Kassel.

Ökologie: Wechselfrische Halbtrockenrasen und wechselfeuchte Moorzweiden.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

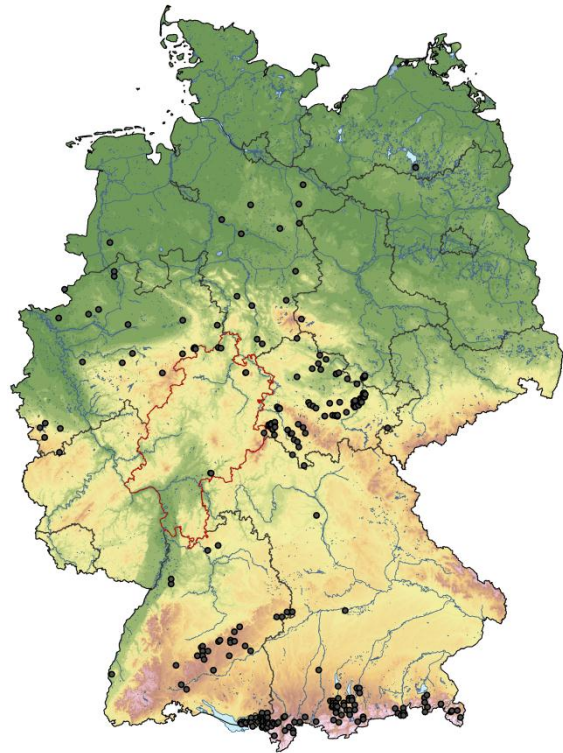


Abbildung 32: *Herminium monorchis*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 48-49):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	-	0	0	++	++	++
2071- 2100	-	--	-	--	++	-	+

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine Abnahme der Verbreitung bis 2100. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten dagegen zeigen eine Zunahme der Verbreitung bis 2050, teilweise mit anschließender Abnahme bis 2100 (HADCM3/CCLM, ECHAM5/REMO) oder eine weitere Zunahme (ECHAM5/CCLM).

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Als Pflanze von Kalkmagerrasen sollte die Art aus botanischer Sicht durch eine Erwärmung des Klimas begünstigt werden. Allerdings besiedelt die Pflanze eher frische Böden und ist deshalb in Hessen extrem selten. Wechselfrische Kalkmagerrasen, bereits heute ein sehr seltener Biotoptyp, dürften bei einer Erwärmung des Klimas weiter zurückgehen.

Geflecktes Ferkelkraut (*Hypochaeris maculata*)

Verbreitung: Vorwiegend Ost-Europa, davon getrennt auf Britischen Inseln. Südlich bis Pyrenäen, Provence, Norditalien und Balkan, auch Südrussland, Kaukasus und Sibirien. In Deutschland v.a. Alpen und Franken. Vereinzelt Fränkische und Schwäbische Alb, Thüringen, Südwest-Sachsen-Anhalt, Hessen, Rheinland-Pfalz, Südwest-Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Ost-Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein. In Hessen in Nordhessen, Vogelsberg-Kreis, Rhön und Taunus.

Ökologie: Waldnahe Trocken- und Halbtrockenrasen, wechsellückige bis -frische Wiesen, Silikatmagerrasen, Trockenwälder sowie Trockengebüsche und ihre Säume.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

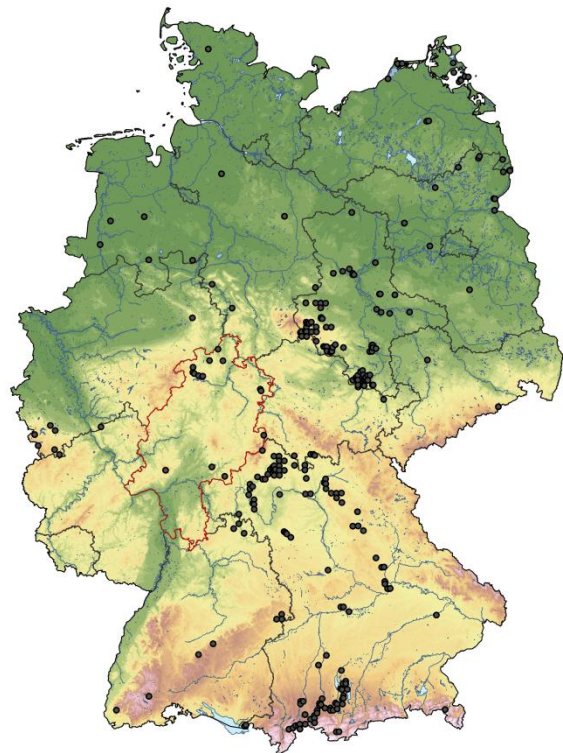


Abbildung 33: *Hypochaeris maculata*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 50-51):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	0	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	-	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen einen Rückgang der Verbreitung, meist ein völliges Verschwinden der Art bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf extensiv genutztes Grünland der Hochlagen beschränkt. Als Rosettenpflanze dürfte sie von einer längeren Vegetationsperiode und dadurch bedingter stärkerer Wüchsigkeit des Hochlagengrünlands besonders betroffen sein. Nicht nur wegen dieser Art sollte die Erhaltung extensiv genutzten Grünland in der Rhön hohe Priorität haben.

Sibirische Schwertlilie (*Iris sibirica*)

Verbreitung: Osteuropäisch-asiatisch, von Norditalien und Deutschland ostwärts bis ins westsibirische Flachland. In Dänemark und Skandinavien vereinzelt, in Südeuropa bis Bulgarien verbreitet. Westgrenze der geschlossenen Verbreitung im Oberrheingebiet. In Deutschland zerstreut in Bayern, Baden-Württemberg, Ost-Rheinland-Pfalz, Süd-Hessen, Thüringen und Sachsen-Anhalt. Selten in Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Ost-Niedersachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Süd-Schleswig-Holstein. In Hessen v.a. Süd-Hessen: Raum Wiesbaden, Rhein, Main-Ebene, Wetterau.

Ökologie: Wechselfeuchte bis -nasse, teilweise auch überflutete, extensiv genutzte moorige Wiesen, Flutmulden und Gräben, Grünlandbrachen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2, nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

Modellierung (Siehe Anhang Seite 52-53):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	+	+	+	+	+	++
2071- 2100	++	+	++	++	++	+	++

Alle Modellierungen sagen eine Zunahme der Verbreitung voraus.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf Feuchtgrünland in Südhessen beschränkt. Derartiges Grünland dürfte durch eine Erwärmung des Klimas potentiell rückläufig sein. Der Schutz der verbliebenen Bestände sollte hohe Priorität haben.

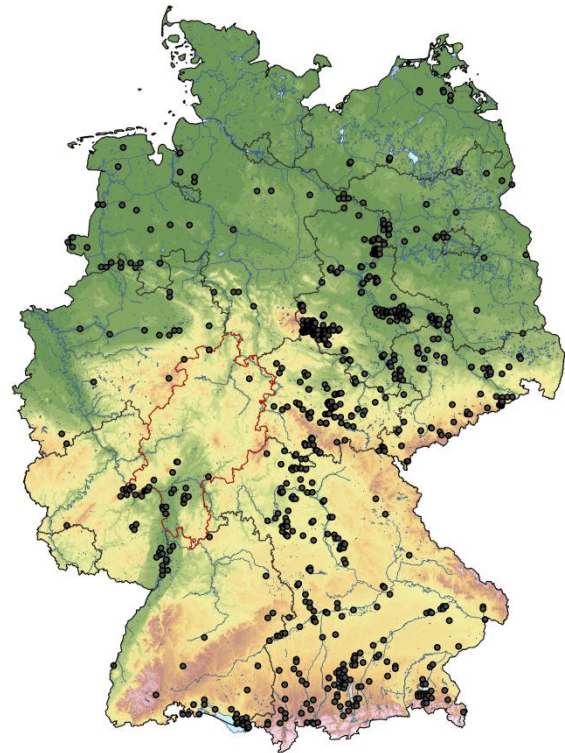


Abbildung 34: *Iris sibirica*, Verbreitung in Deutschland.

Wiesen-Schwertlilie (*Iris spuria* subsp. *spuria*)

Verbreitung: Eurasisch-subkontinental mit zersplittertem Areal von Nordafrika über Spanien, Frankreich, Slowakei und Ungarn bis Sibirien. Innerhalb Deutschlands sehr eng umgrenztes Vorkommen im nördlichen Oberrheingebiet in Hessen und Rheinhessen zwischen Mannheim und Bingen. Heute größtes Vorkommen im Naturschutzgebiet „Riedloch von Trebur“, aber auch außerhalb des Naturschutzgebietes Bestände (Hodvina et al. 2007).

Ökologie: Ungedüngte Wiesen, meidet zu feuchte oder zu nasse Standorte.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 3, besondere Verantwortung Hessens für den Erhalt der Art in Deutschland.

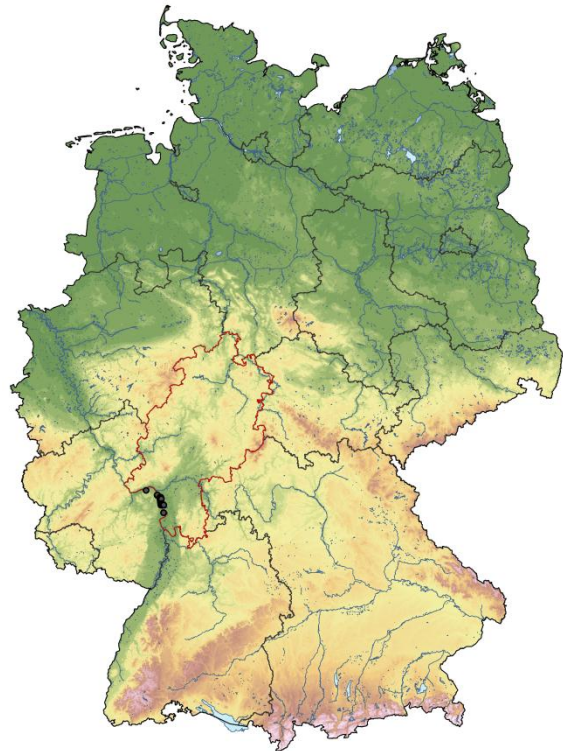


Abbildung 35: *Iris spuria* subsp. *spuria*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 54-55):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	++	0	+	--	--	--
2071- 2100	++	++	++	+	--	--	--

Alle Klima-Modellierungen bis auf ECHAM5 (1 km) sagen eine deutliche Ausbreitung voraus. ECHAM5 (1 km) deutet eine mögliche geringe Ausbreitung an. Das Hinzufügen der Landnutzung bei der Modellierung führt zu einem zukünftigen völligen Verschwinden der sehr kleinräumig verbreiteten Art.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf salzbeeinflusstes Grünland der Oberrheinebene beschränkt. Potentielle Chancen auf eine Vergrößerung der Populationen durch den Klimawandel können wegen des Fehlens entsprechender weiterer Standorte wahrscheinlich nicht genutzt werden.

Kleiner Frauenspiegel (*Legousia hybrida*)

Verbreitung: Portugal bis zur Elbe und der Dalmatischen Küste. Im Norden bis Mittelengland, im Süden bis zum Atlas-Gebirge und Sizilien sowie rund um das Schwarze Meer. In Deutschland in Nord-, Ost- und Südwest- (Eifel) Nordrhein-Westfalen, Schwäbische Alb, Rhön und Nordhessen sowie Thüringen, Süd-Niedersachsen und vereinzelt in Bayern.

Ökologie: Lehmige bis tonige, meist skelettreiche, trockene bis mäßig trockene Äcker und Ackerbrachen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

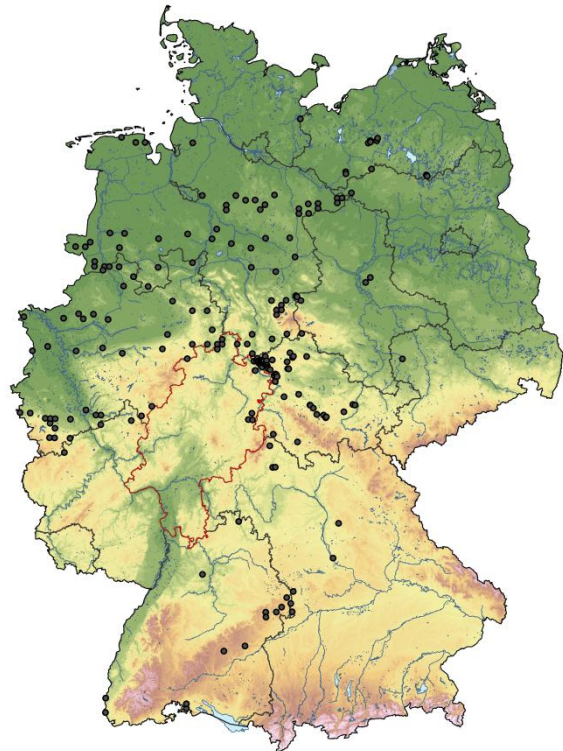


Abbildung 36: *Legousia hybrida*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 56-57):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen prognostizieren ein Verschwinden der Art in Hessen bis 2100, abgesehen von ECHAM5 (1 km) bereits schon 2050.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Vorkommen dieses Ackerunkrauts hängt im Wesentlichen von der extensiven Nutzung kalkreicher Böden als Acker ab. Veränderungen des Klimas sind für die Verbreitung in Hessen von nachrangiger Bedeutung.

Lothringer Lein (*Linum leonii*)

Verbreitung: Europäischer Endemit, Hauptareal in Mittel- und Ostfrankreich sowie isolierte Vorkommen in Süd- und Mitteldeutschland. In Baden-Württemberg und Bayern jeweils ein Vorkommen. Weitere Vorkommen in der Südeifel, im südlichen Thüringer Becken, in Nordhessen und Südniedersachsen sowie im nordöstlichen Harzvorland.

Ökologie: stark besonnte, basische Halbtrockenrasen auf flachgründigen, stein- und schuttreichen Kalksteinböden in westlicher bis südöstlicher Exposition.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen R (Rückgang), nach Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt, besondere Verantwortung Hessens für das Vorkommen in Deutschland.

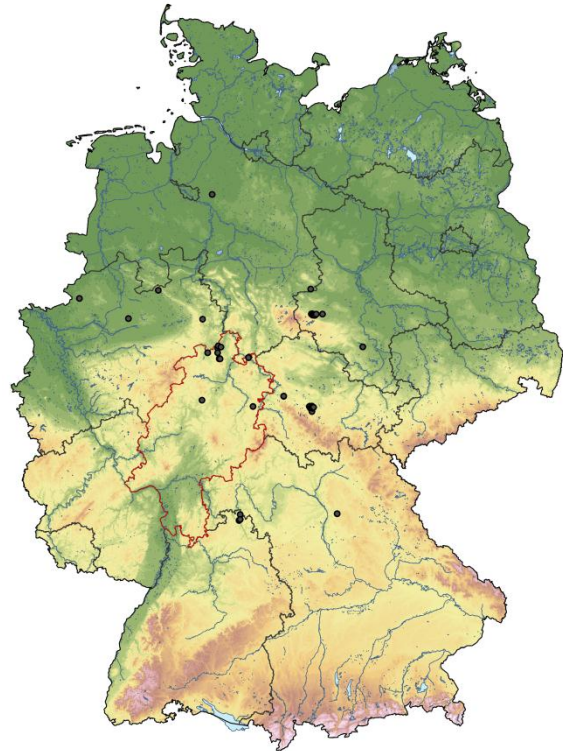


Abbildung 37: *Linum leonii*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 58-59):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Fast alle Modellierungen zeigen ein völliges Verschwinden der Art bis 2100. Nur ECHAM5 (1 km) deutet noch eine Möglichkeit des Vorkommens in Nordhessen an.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Als Pflanze von Kalkmagerrasen sollte der Lothringische Lein aus botanischer Sicht durch eine Erwärmung des Klimas begünstigt werden. Die Erhaltung der Vorkommen ist aber vor allem von der weiteren extensiven Weidenutzung der Kalkmagerrasen abhängig.

Zarter oder Schmalblättriger Lein (*Linum tenuifolium*)

Verbreitung: Europa und Kleinasien, in Europa westlich bis West- und Mittelfrankreich und östlich bis zum Kaspischen Meer, südlich bis Süditalien, Nordgriechenland und Nordsyrien, nördlich bis Belgien und Mitteldeutschland. In Deutschland zerstreut in Nordwest-Bayern, in Baden-Württemberg, Süd-Thüringen sowie vereinzelt in Hessen und Südost-Niedersachsen. In Hessen im Raum Wiesbaden, Darmstadt sowie Spessart und Rhön.

Ökologie: In submediterranen Trocken- und Halbtrockenrasen sowie ruderal beeinflusste steinige Böschungen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

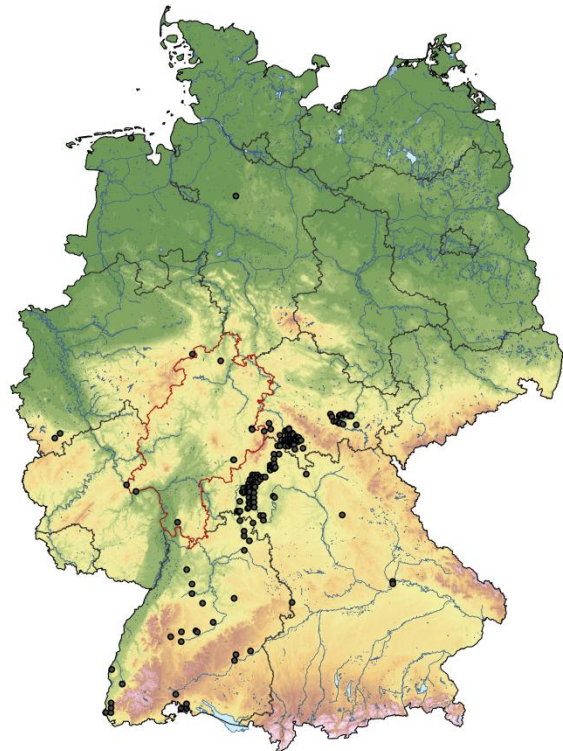


Abbildung 38: *Linum tenuifolium*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 60-61):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	0	0	(-)	0	0	0	0
2071- 2100	0	0	0	(+)	0	0	0

Wahrscheinlich aufgrund von zu wenigen Fundpunkten zeigen die Modellierungen generell eine mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit. Diese variiert zwischen den unterschiedlichen Zeiträumen nur schwach, weshalb es nicht möglich ist, eine Veränderung der Verbreitung daraus abzulesen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Als Pflanze sehr wärmebegünstigter Kalkmagerrasen sollte der Zarte Lein aus botanischer Sicht durch eine Erwärmung des Klimas begünstigt werden. Die Erhaltung der Vorkommen ist aber vor allem von der weiteren extensiven Weidenutzung der Kalkmagerrasen abhängig.

Froschkraut (*Luronium natans*)

Verbreitung: (Sub)atlantische Verbreitung in Europa; Frankreich, Großbritannien, Niederlande, Deutschland, Südschweden und Teile Polens. In Deutschland Verbreitungsschwerpunkt im nordwestlichen Tiefland, insbesondere im Emsland und in Ostfriesland. Einzelne Nachweise in der Südheide, im Münsterland, am Niederrhein, im Taunus sowie im südlichen Holstein und in einem Teilareal in Süd-Brandenburg und Nordost-Sachsen.

Ökologie: Schlammböden an Ufern seichter Stillgewässer.

Status: RL Deutschland 2+; RL Hessen 0, nach Bundesnaturschutzgesetz streng geschützt, Art der FFH-Richtlinie.

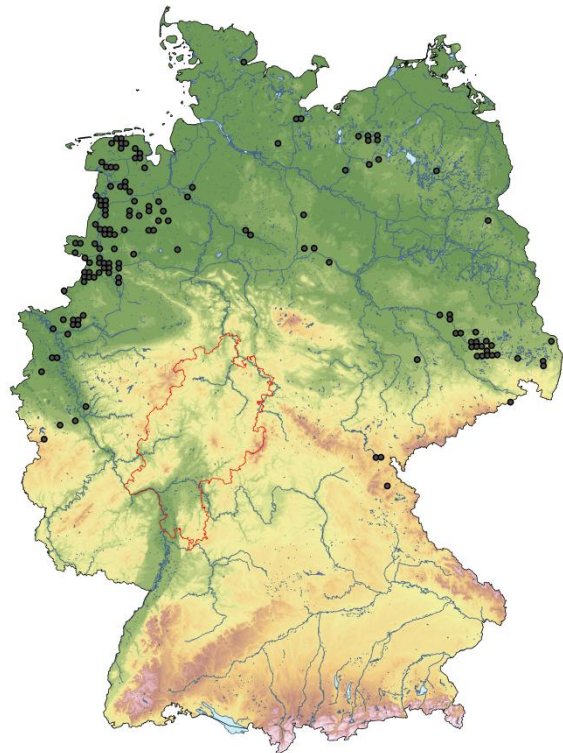


Abbildung 39: *Luronium natans*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Kleefarn (*Marsilea quadrifolia*)

Verbreitung: submediterran, Portugal, Südwest-Frankreich, Oberrheingebiet, Po-Ebene, Donaugebiet sowie an der unteren Wolga. In Deutschland Nordgrenze der Verbreitung. In Hessen seit Beginn des 19. Jahrhunderts nicht mehr nachgewiesen. Einziges historisch bekannte Vorkommen in der Rheinaue westlich von Trebur (Benzelische Aue) auf Gebiet des heutigen Gutes Hohenau, nach Anlage des Sommerdammes verschwunden.

Ökologie: flache Gewässer oder trocken gefallener Schlamm, offene Stellen in Lehmgruben und Uferbereiche trockenfallender Stillgewässer.

Status: D 0; HE 0, nach Bundesnaturschutzgesetz streng geschützt, Art der FFH-Richtlinie.

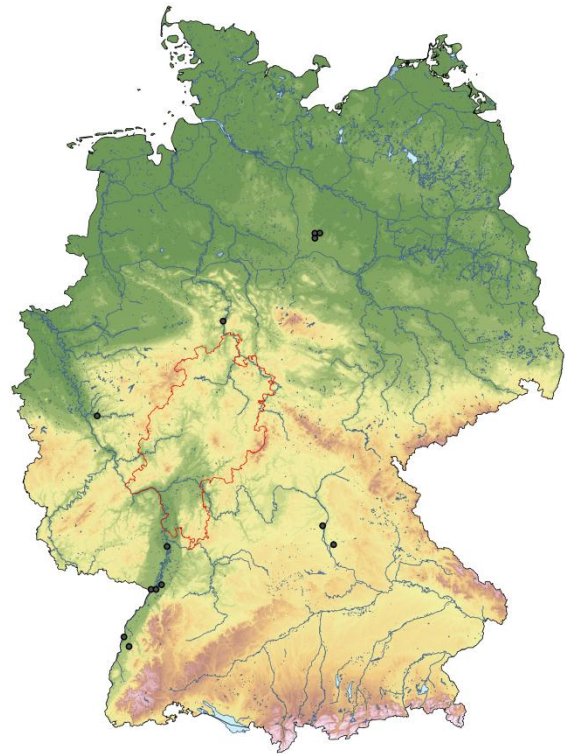


Abbildung 40: *Marsilea quadrifolia*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Zwerggras (*Mibora minima*)

Verbreitung: Dünen und Steppen im ozeanischen Westeuropa sowie wintermilde Gebiete Mitteleuropas. Schwerpunkt im Westen der Iberischen Halbinsel sowie in West-Frankreich. Kleineres Teilareal im südwestlichen Deutschland auf Sandböden der nördlichen Oberrheinebene und der Untermainebene. Früher v.a. in Südhessen auf Äckern häufig. Heute in der westlichen Untermainebene, südlich Darmstadt sowie bei Rüsselsheim-Königstädten.

Ökologie: Terrassensande des Mains und Flugsandablagerungen in der Rheinebene, extensiv bewirtschaftete Obstwiesen (Hodvina & Buttler 2002).

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, besondere Verantwortung Hessens für Erhalt in Deutschland.

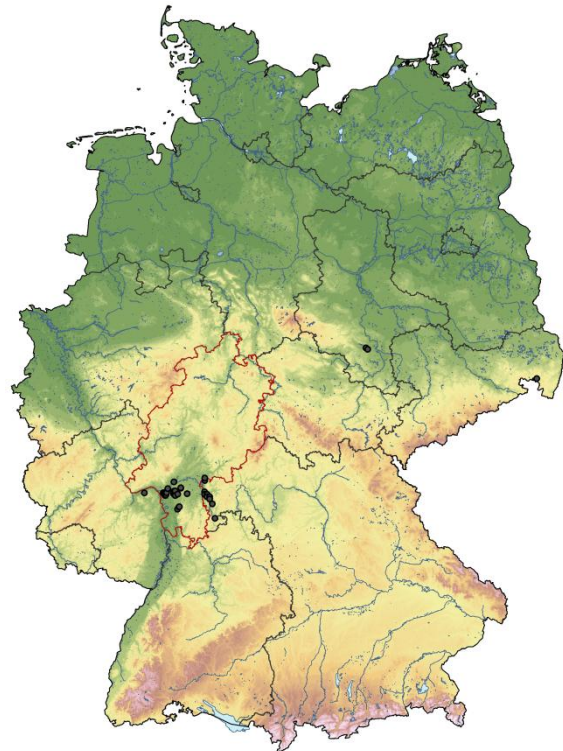


Abbildung 41: *Mibora minima*, Verbreitung in Deutschland. Bei den Punkten in Sachsen und Sachsen-Anhalt handelt es sich wahrscheinlich um Verschleppung.

Modellierung (siehe Anhang Seite 62-63):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	++	+	-	+	+	++
2071- 2100	++	++	++	--	++	+	++

Bis auf ECHAM5 (1 km) zeigen alle Klima-Modellierungen eine starke Ausbreitung der Art bis 2100. Im Gegensatz dazu verschwindet die Art aus Hessen bei ECHAM5 (1 km). Auch die Modellierungen mit Klima und Landnutzung zeigen eine Ausdehnung der Verbreitung. Bei Landnutzung mit ECHAM5/CCLM oder ECHAM5/REMO scheint bis 2100 eine fast vollständige Ausbreitung in Hessen, bis auf die Höhenlagen, möglich. HADCM3/CCLM mit Landnutzung prognostiziert eine Verschiebung der Verbreitung in höhere Lagen wie Westerwald, Odenwald, Spessart und Vogelsberg.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Vorkommen dieses Ackerunkrauts hängt im Wesentlichen von der extensiven Nutzung sandiger, basenarmer Böden als Acker ab. Aus botanischer Sicht lassen sich die Auswirkungen einer Erwärmung des Klimas auf die atlantisch verbreitete Pflanze schwer abschätzen. Sie wird durch milde Winter begünstigt. Aus diesem Grund ist die in den Klima-Modellierungen beschriebene Zunahme der Verbreitung durchaus wahrscheinlich.

Aufrechte Weißmiere (*Moenchia erecta*)

Verbreitung: Submediterran bis subatlantisch, v.a. Spanien, Portugal, Frankreich und Südengland sowie Südwest- und Mitteldeutschland, seltener im zentralen und östlichen Mittelmeergebiet. In Deutschland nördliche Grenze des Verbreitungsareals. Hessische Vorkommen v.a. in Mittelhessen in den Landkreisen Wetterau, Vogelsberg, Gießen, Marburg-Biedenkopf und Lahn-Dill.

Ökologie: Überwiegend flachgründige, kalkfreie, neutrale bis mäßig saure Standorte in Magerrasen, mageren Grünlandbeständen und Säumen, meist südexponiert (Bönsel et al 2002).

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, Hessen trägt nahezu alleinige Verantwortung für den Erhalt in Deutschland.

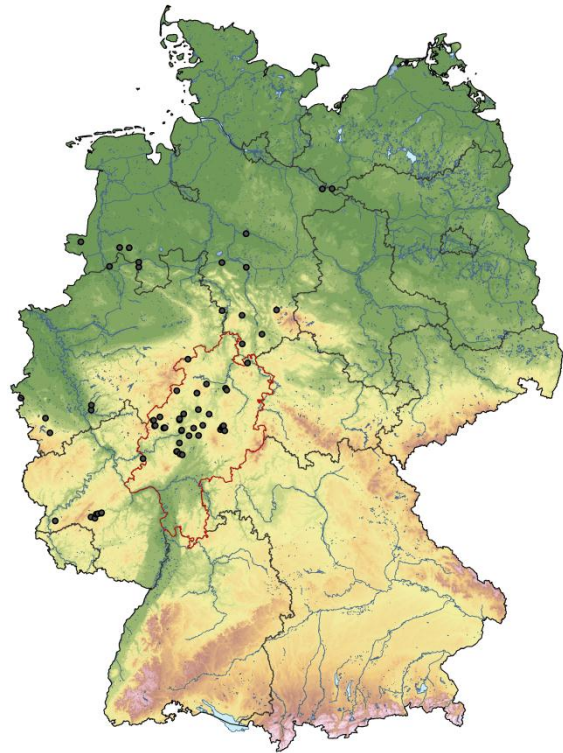


Abbildung 42: *Moenchia erecta*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 64-65):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	--	--	-
2071- 2100	--	--	--	-	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen eine deutliche Abnahme oder sogar ein komplettes Verschwinden der Art in Hessen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das Vorkommen der Weißmiere ist im Wesentlichen von der extensiven Nutzung nährstoffarmer, basenreicher, aber kalkarmer Böden als Weide abhängig. Da diese Nutzung sehr stark rückläufig ist, nimmt die Pflanze seit Jahrzehnten in Hessen stark ab. Veränderungen des Klimas sind wahrscheinlich für die Verbreitung in Hessen von nachrangiger Bedeutung.

Acker-Schwarzkümmel (*Nigella arvensis*)

Verbreitung: Nordwestlich bis Nordfrankreich und die Niederlande, in Deutschland bis Mecklenburg-Vorpommern sowie im Nordosten von Polen bis in die Ukraine. Hessen am Nordwestrand des Areal. Ehemals weit verbreitetes Getreideunkraut, heute nur noch Restvorkommen in einzelnen Bundesländern. In Hessen nur noch im Raum zwischen Darmstadt und Alsbach (Hodvina & Cezanne 2007). Hier v.a. in zwei Schutzgebieten („Ulvenberg“ und Dulbaum“).

Ökologie: Kalkreiche Flugsanddünen, Sand-, Steppen- und Halbtrockenrasen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

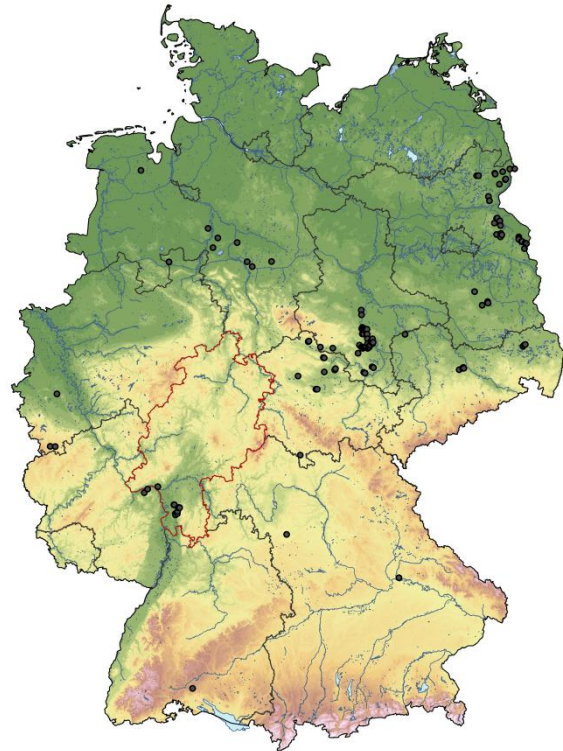


Abbildung 43: *Nigella arvensis*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 66-67):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031-2060	+	+	+	+	-	-	+
2071-2100	++	++	++	(+)	--	--	-

Bis auf ECHAM5 (1 km) zeigen alle Klima-Modellierungen eine deutliche (ECHAM5/REMO) bis starke Zunahme (ECHAM5/CCLM, HADCM3/CCLM) der Verbreitung. ECHAM5 (1 km) dagegen beschreibt nach einer Ausbreitungstendenz 2050 einen leichten Rückgang der Verbreitung bis 2100 mit möglichem Rückzug in höhere Regionen. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten sagen eine Verringerung der Verbreitung voraus. Dabei wird für 2050 erst eine Verlagerung der Verbreitung in höher gelegene Gebiete wie Spessart oder Vogelsberg mit anschließendem (annäherndem) Verschwinden der Art beschrieben. Nur Landnutzungsdaten mit ECHAM5/REMO zeigt zunächst bis 2050 ein größeres Verbreitungsgebiet, danach eine deutliche Abnahme bis 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Nach völligem Erlöschen der Ackervorkommen ist der Acker-Schwarzkümmel in Hessen auf wenige Kalksandrasen der Oberrheinebene beschränkt. Dies stellt einen für die Art eher untypischen Biotoyp dar. Aus botanischer Sicht werden kaum Auswirkungen des Klimawandels auf das Vorkommen der Pflanze in Hessen erwartet.

Haarstrang-Wasserfenchel (*Oenanthe peucedanifolia*)

Verbreitung: In Europa v.a. in küstennahen Gebieten Westeuropas. Nordwärts bis Dänemark, im Süden bis Mazedonien. In Deutschland nur in Rheinland-Pfalz, in Gemüden in Nordwest-Bayern sowie selten in Südwest-Hessen. In Hessen Vorkommen im Raum Darmstadt, Wiesbaden sowie im Vordertaunus.

Ökologie: Feuchte bis nasse, moorige Wiesen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

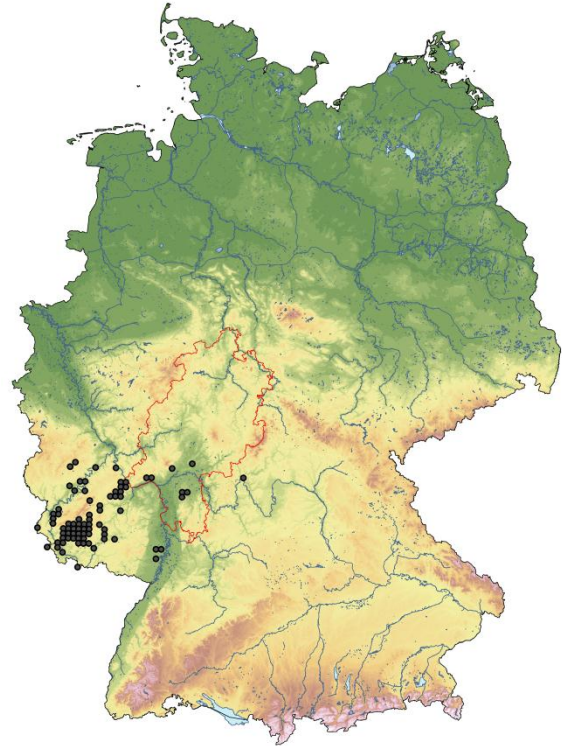


Abbildung 44: *Oenanthe peucedanifolia*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 68-69):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	++	++	++	+	++	++	++
2071- 2100	++	++	++	++	++	++	++

Alle Modellierungen zeigen eine starke Ausbreitung. Außer den Modellierungen mit ECHAM5 (1 km) sowie Landnutzung mit HADCM3/CCLM wird bis 2100 eine Besiedlung ganz Hessens prognostiziert. Bei ECHAM5 (1 km) beschränkt sich die Ausbreitung auf Süd-Hessen, bei Landnutzung mit HADCM3/CCLM dagegen wird für den Raum Wiesbaden/Frankfurt/Darmstadt nur eine geringe Vorkommenswahrscheinlichkeit für 2100 vorhergesagt.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze besiedelt wechselfeuchtes Grünland in Südhessen. Dieser Biotoptyp dürfte durch eine Erwärmung des Klimas deutlich zurückgehen. Bestehende großflächige Gebiete wie der Mönchsbruch sollten hydrologisch stabilisiert werden.

Sand-Sommerwurz (*Orobanche arenaria*)

Verbreitung: Submeridional, europäisch, stark disjunkt. Westlich bis Atlantikküste Portugals und Südspaniens, Mitteleuropa bis Schweriner See in Mecklenburg-Vorpommern, östlich bis Ural und Aralsee, südlich von Nordafrika bis Vorderasien, im mittleren und östlichen Mittelmeergebiet fehlend. In Deutschland selten in Nordwest-Bayern, West-Baden-Württemberg, Ost-Rheinland-Pfalz, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommer und Südhessen.

Ökologie: Trockenrasen auf Fels- und Sandböden

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2.

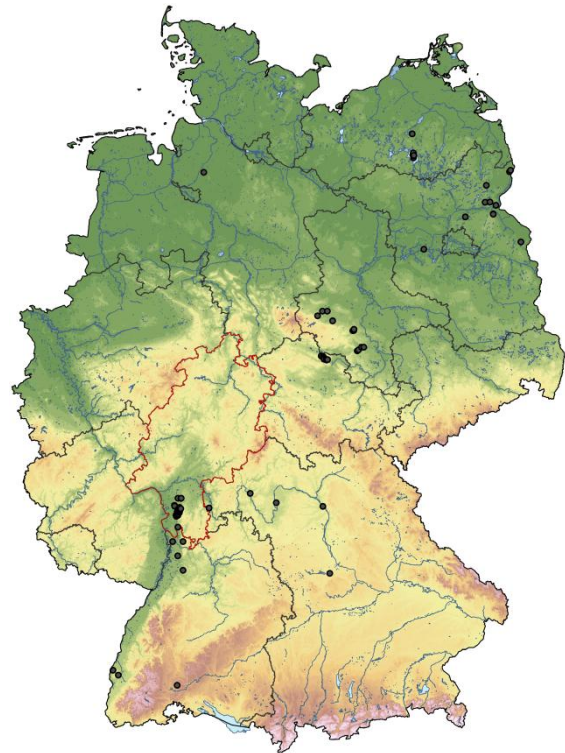


Abbildung 45: *Orobanche arenaria*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 70-71):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	+	--	(+)	(+)	(+)
2071- 2100	++	++	++	--	-	-	--

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine deutliche Zunahme der Verbreitung bis 2100. ECHAM5/CCLM und HADCM3/CCLM prognostizieren dabei die stärkste Ausbreitung. ECHAM5/REMO beschreibt eine Verlagerung der Vorkommen in höher gelegene Gebiete wie Odenwald, Taunus, Vogelsberg und Spessart. Bei ECHAM5 (1 km) verschwindet die Art nahezu. Bei den Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten tritt bereits 2050 eine Verschiebung in höhere Regionen (Vogelsberg, Spessart, Westerwald) auf. 2100 sind nur noch sehr kleine, teilweise verstreute Vorkommen vorhanden, bei ECHAM5/REMO mit Landnutzung sogar diese nicht mehr.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Sand-Sommerwurz dürfte als Pflanze wärmebegünstigter, kalkreicher Magerrasen potentiell durch eine Klimaerwärmung begünstigt werden. Allerdings ist ihr Vorkommen im Wesentlichen vom Vorhandensein extensiv genutzter Magerrasen abhängig.

Badener Rispengras (*Poa badensis*)

Verbreitung: Nacheiszeitliches Relikt mit zersplittertem Areal in Europa, von den französischen Pyrenäen über Süd- und Ostfrankreich in zwei Streifen: im Süden über den Alpenraum bis nach Albanien, im Norden über den Jura, Mitteldeutschland und Böhmen bis nach Bulgarien. In Deutschland zwei Verbreitungsschwerpunkte: Ostdeutschland, im Trockengebiet südöstlich des Harzes in Sachsen-Anhalt und Thüringen, Westdeutschland im Trockengebiet am nördlichen Oberrhein (Nordbaden, Südhessen und Rheinhessen) sowie an der unteren Nahe. Daneben gibt es noch zwei Vorkommen in Bayern. In Hessen nur noch um Darmstadt, v.a. im Schutzgebiet „Ulvenberg“ (Hodvina & Cezanne 2008).

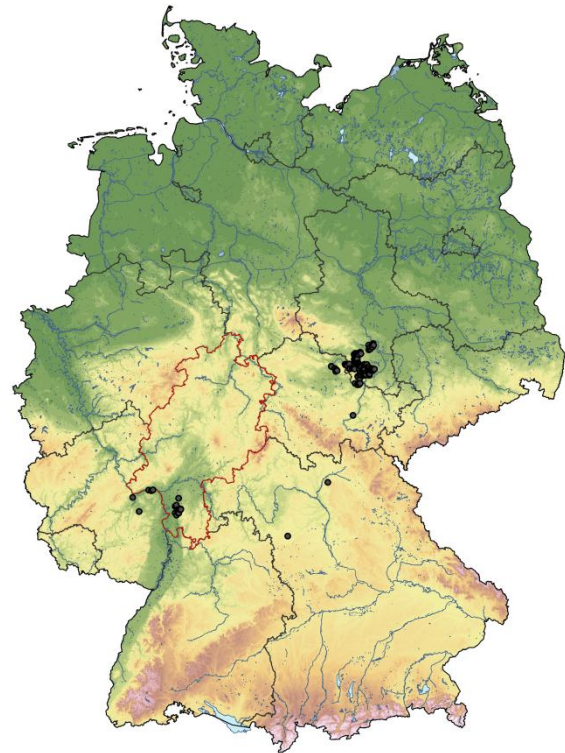


Abbildung 46: *Poa badensis*, Verbreitung in Deutschland.

Ökologie: Lückige Sand- und Steppenrasen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

Modellierung (Siehe Anhang Seite 72-73):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)
2071- 2100	++	++	++	(+)	-	-	-

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine deutliche Zunahme der Verbreitung bis 2100. ECHAM5/CCLM und HADCM3/CCLM prognostizieren dabei die stärkste Ausbreitung. ECHAM5/REMO beschreibt eine Verlagerung der Vorkommen in höher gelegene Gebiete wie Odenwald, Taunus, Vogelsberg und Spessart. Dies ist bei ECHAM5 (1 km) ähnlich, jedoch mit generell geringerer Vorkommenswahrscheinlichkeit. Bei den Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten tritt bereits 2050 eine Verschiebung in höhere Regionen auf, 2100 nur noch sehr kleine, teilweise verstreute Vorkommen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf Kalksandrasen der Oberrheinebene beschränkt. Potentielle Chancen auf eine Vergrößerung des Areals durch den Klimawandel können wegen des Fehlens entsprechend genutzter Standorte, notwendig sind offene Kalksande, wahrscheinlich kaum genutzt werden.

Weißes Fingerkraut (*Potentilla alba*)

Verbreitung: Europäisch-kontinental, östliches Mitteleuropa und Osteuropa bis zur Wolga. Nordgrenze quer durch Norddeutschland. In Deutschland in Süd-Mittel und Nordwest-Bayern, dort v.a. in der unteren Hochebene, an der Donau, Jura und Unterfranken sowie in Baden-Württemberg von Klettgau bis Schönbrunn, Jura, Wertheim und am nördlichen Oberrhein. Weitere Vorkommen in Thüringen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg mit Bremen. Vereinzelt auch in Hessen um Frankfurt und in der Wetterau sowie in Südost-Niedersachsen an der Asse und im Südosten Mecklenburg-Vorpommerns.

Ökologie: Mäßig trockene Wald- und Gebüschsäume, lichte Eichen- und Kiefernwälder sowie Magerrasen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

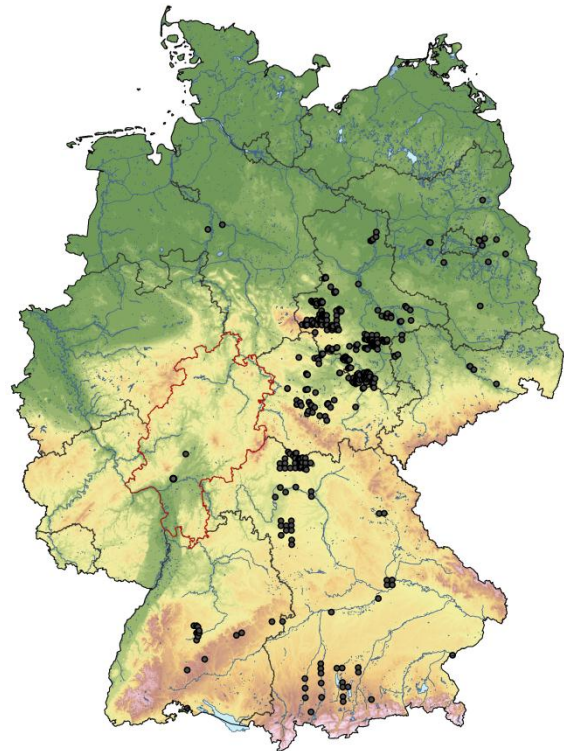


Abbildung 47: *Potentilla alba*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Rötliches Fingerkraut (*Potentilla heptaphylla*)

Verbreitung: Elsass-Lothringen im Westen bis in die Ukraine im Osten. Im Norden bis Ostpreußen und Südschweden, im Süden bis Norditalien, Montenegro und das untere Donaugebiet. In West- und Südeuropa nicht vorkommend. In Deutschland verbreitet in Süd- und Mittelbayern, Ost-Baden-Württemberg, Nord-Thüringen, Südwest-Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. In Süddeutschland Schwerpunkte in Schwäbischer und Fränkischer Alb, Jura, Franken und im Alpenvorland. Sonst nur vereinzelt. In Hessen auf Kalkmagerrasen bei Korbach sowie in der Wetterau, in Südhessen sowie in der Rhön (Gregor & Lehmann 2004).

Ökologie: Halbtrocken- und Trockenrasen, trockene Kiefern- und Eichenwälder.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

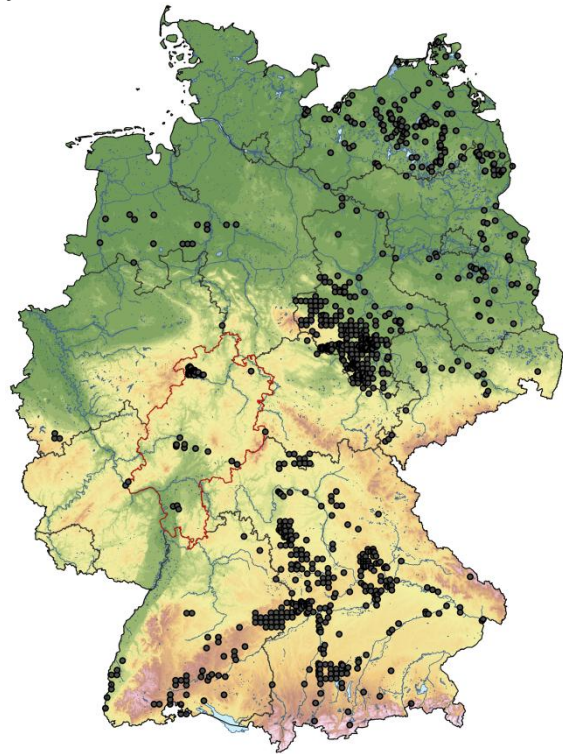


Abbildung 48: *Potentilla heptaphylla*, Verbreitung in Deutschland. Eine Überprüfung der Funddaten ergab, dass die Angaben für Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen einer Aktualisierung bedürfen.

Modellierung (siehe Anhang Seite 74-75):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	--	-	-	-	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen einen starken Rückgang bis zum völligen Verschwinden der Art in Hessen. Nur bei ECHAM5/REMO wird für 2100 noch eine mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit für einige Regionen angegeben.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Als Pflanze subkontinentaler Kalkmagerrasen sollte die Pflanze aus botanischer Sicht potentiell vom Klimawandel profitieren. Ihr Vorkommen hängt aber im Wesentlichen von der extensiven Weidenutzung nährstoffarmer Kalkböden ab.

Efeublättriger Hahnenfuß (*Ranunculus hederaceus*)

Verbreitung: Atlantische Art des Flach- und Hügellandes, Verbreitungsschwerpunkt in Westeuropa. In Deutschland besonders im nordwestdeutschen Tiefland. In Hessen und Thüringen zerstreut. In Hessen südöstliche Arealgrenze. Ursprünglich wahrscheinlich nur Rhön, Spessart und das Werragebiet unbesiedelt. Heute nur noch vereinzelte Vorkommen mit Schwerpunkt im Reinhardswald sowie im Vogelsberg und Westerwald (Frahm-Jaundes & Maiweg 2008).

Ökologie: Quellflure und Gräben mit Quellwasser auf offenen, basenarmen Böden.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1.

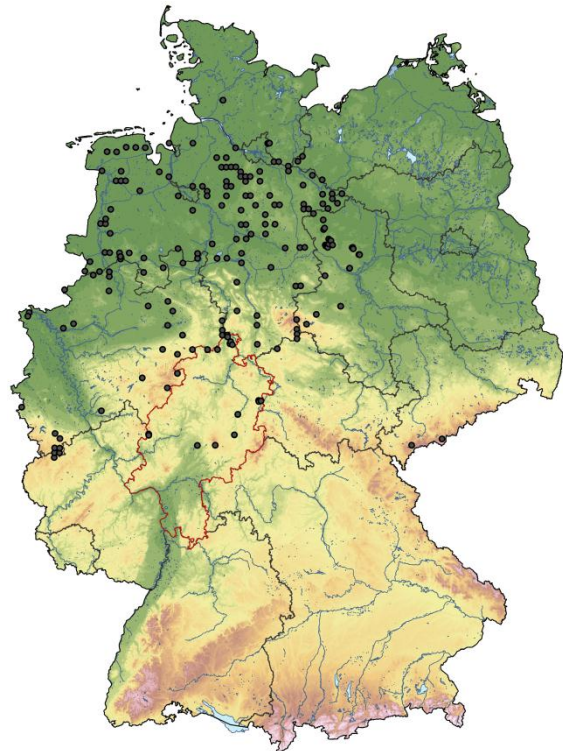


Abbildung 49: *Ranunculus hederaceus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierungen (siehe Anhang Seite 76-77):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	-	-	-	-	0
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen eine starke Abnahme der Verbreitung bis 2100. Bei den meisten Modellierungen ist eine Tendenz des Rückzugs in höher gelegene Regionen zu erkennen, bevor 2100 überall in Hessen ein Vorkommen der Art unwahrscheinlich wird.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die ausgeprägt atlantisch verbreitete Pflanze befindet sich in Hessen am Südrand ihres Verbreitungsgebietes. Durch den Klimawandel wird die Pflanze deutlich beeinträchtigt. Da auch die von der Pflanze besiedelten Standorte, beweidete Quellen, kaum mehr bestehen, ist ein Aussterben der Pflanze in Hessen zu befürchten. In den wenigen Hochlagenvorkommen, im Vogelsberg und Westerwald, sollte die Beweidung der Quellbereiche fortgeführt werden.

Schmalblättriger Klappertopf (*Rhinanthus glacialis*)

Verbreitung: Alpen und Alpenvorland von Frankreich bis Slowenien. In Deutschland nördlich bis zum Harz. Früher in Süd- und Ost-Hessen von der Ebene (Rhein-Main-Tiefland, Odenwaldrand, Büdinger Wald) bis in die höheren Mittelgebirge (Landrücken, Rhön). Heute nur noch im Taunus und in der Rhön in Höhen über 500 m (Nawrath & Buttler 2000).

Ökologie: Mageres Grünland, z.B. lückige, niedrigwüchsige Magerrasen, Flügelginster-Weiden, Borstgrasrasen und magere bodensaure Viehweiden (Goldhaferwiesen).

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

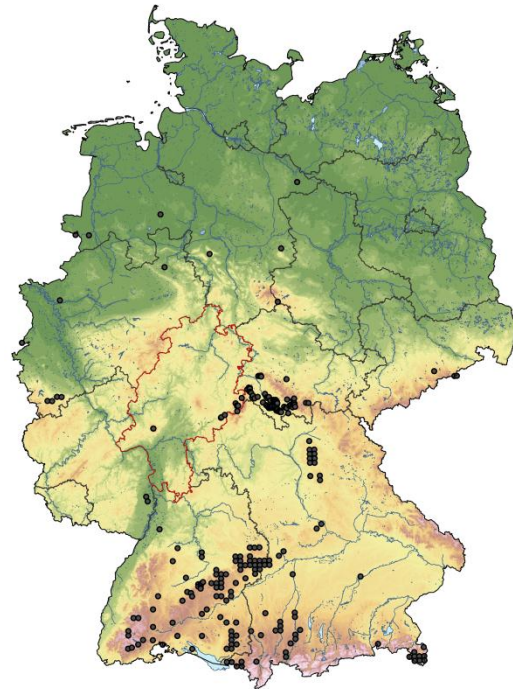


Abbildung 50: *Rhinanthus glacialis*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 78-79):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	--	+	-	-	--	-
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen prognostizieren das Verschwinden der Art in Hessen bis 2100. ECHAM5 (1 km) sowie die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten beschreiben einen Rückzug der Art in die Höhenlagen der Rhön 2050, meist mit anschließendem Verschwinden. Nur ECHAM5 (1 km) zeigt ein mögliches Bestehen des Schmalblättrigen Klappertopfs in der Rhön.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf extensiv genutztes Grünland der Hochlagen beschränkt. Als konkurrenzschwacher Halbparasit dürfte sie von einer längeren Vegetationsperiode und dadurch bedingter stärkerer Wüchsigkeit des Hochlagengrünlands besonders betroffen sein. Nicht nur wegen dieser Art sollte die Erhaltung extensiv genutzten Grünland in der Rhön hohe Priorität haben.

Großer Klappertopf (*Rhinanthus serotinus*)

Verbreitung: Frankreich über Deutschland bis nach Sibirien und Kleinasien sowie in Süd-Schweden und Süd-Finnland. In Deutschland verbreitet in Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein. In den restlichen Bundesländern zerstreut. In Hessen in Süd- und Nordhessen sowie in der Wetterau und im Raum Wiesbaden.

Ökologie: Mäßig frische, feuchte bis moorige Wiesen, Halbtrockenrasen, Dünen, sandig-lehmige Äcker sowie sandige Kiefernwälder und -forste.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

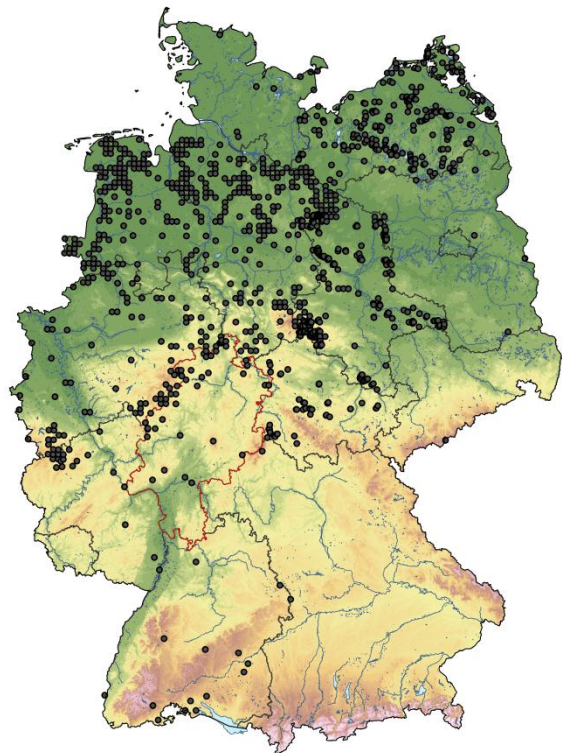


Abbildung 51: *Rhinanthus serotinus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 80-81):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	-	+	+	++	+
2071- 2100	+	--	+	+	++	++	++

Die Modellierungsergebnisse zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Der Große Klappertopf hat eine atlantische Verbreitung und sein Vorkommen wird von einer Erwärmung des Klimas sicherlich negativ beeinflusst. Wichtiger für die Pflanze ist allerdings die dauerhaft extensive Nutzung von wechselfeuchtem und frischem Grünland. Derartiges Grünland ist in Südhessen, wo sich die Mehrzahl der verbliebenen Vorkommen befindet, heute kaum mehr vorhanden.

Hessische Brombeere (*Rubus hassicus*)

Verbreitung: Bis auf einen Fundort alle Vorkommen in Hessen. Von der Untermainebene bei Frankfurt durch das Dreieichgebiet und den Kranichsteiner Wald bis zum Spessart sowie in der östlichen Wetterau bei Büdingen verbreitet.

Ökologie: Waldränder und lichte Wälder.

Status: Nicht in Roten Listen erfasst.

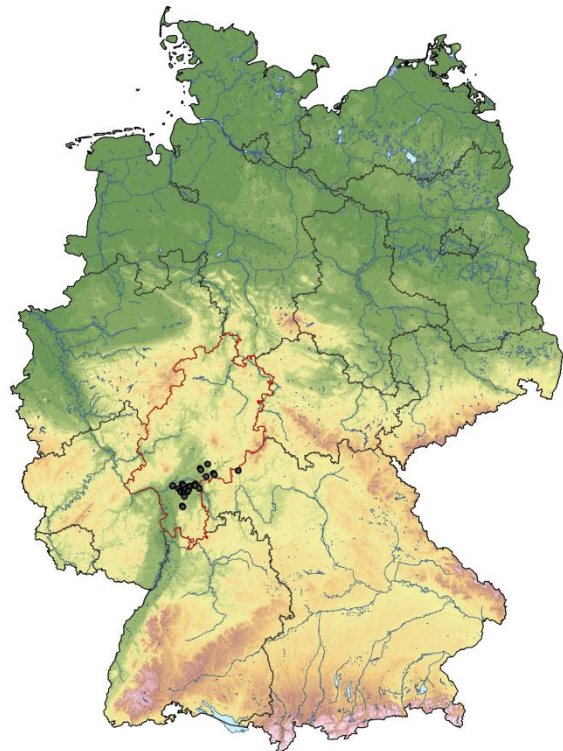


Abbildung 52: *Rubus hassicus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung: (Siehe Anhang Seite 82-83)

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	+	+	-	-	+
2071- 2100	++	+	++	-	++	0	++

ECHAM5/CCLM und ECHAM5/REMO zeigen eine starke Zunahme der Verbreitung bis 2100, bei ECHAM5/CCLM 2050 allerdings erst eine Abnahme. HADCM3/CCLM beschreibt für 2050 ebenfalls eine Abnahme, 2100 dann eine Zunahme im Spessart. Bei ECHAM5 (1 km) ist 2050 eine Verlagerung der Verbreitung in den Odenwald und Spessart mit starkem Rückgang 2100 zu sehen. Eine Kombination aus Klima- und Landnutzungsdaten ergibt ein ähnliches Bild mit starker Zunahme 2100 bei den Modellierungen mit ECHAM5/CCLM und ECHAM5/REMO.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Kenntnis über die ökologischen Ansprüche der Hessischen Brombeere ist zu gering, um die Auswirkungen des Klimawandels abzuschätzen. Geringe Unterschiede in den ökologischen Ansprüchen bedingen Konkurrenzunterschiede zwischen den etwa 40 im Gebiet vorkommenden *Rubus*-Arten.

Hügel-Knäulkraut (*Scleranthus verticillatus*)

Verbreitung: Überwiegend in Südeuropa. Iberische Halbinsel ostwärts durch das Mittelmeergebiet (Spanien, Italien) bis nach Kleinasien und zur Krim. In Deutschland nördlicher Arealrand. Vorkommen in Mittelhessen und den Trockengebieten in Thüringen und Sachsen-Anhalt. In Hessen von der nördlichen Wetterau zum Großenlinder Hügelland und Gießener Landrücken sowie von dort über das Lahntal abwärts bis ins Limburger Becken (Teuber 2002).

Ökologie: Vorwiegend südexponierte, lückige Magerrasen oder Kleinschmielenrasen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, besondere Verantwortung Hessens für Erhalt in Deutschland.

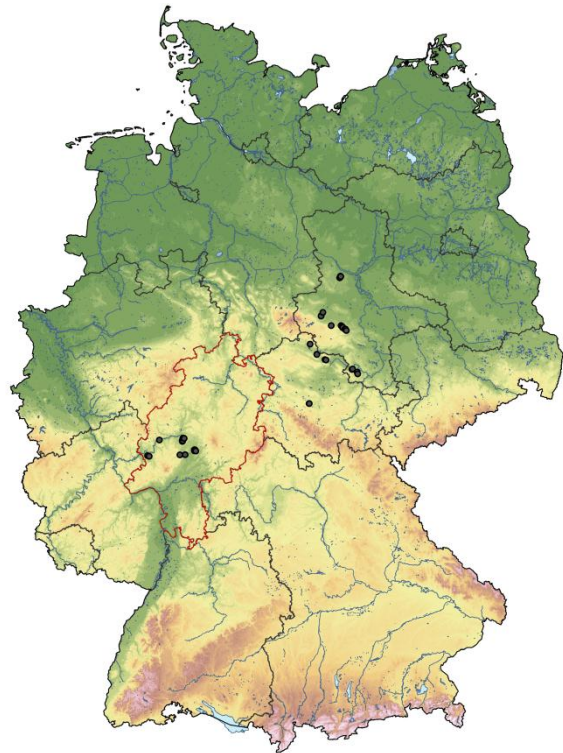


Abbildung 53: *Scleranthus verticillatus*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 84-85):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	(-)	(-)	+	-	--	--	--
2071- 2100	0	(-)	++	(+)	--	--	--

Die Modellierungen zeigen keinen klaren Trend. ECHAM5/CCLM und HADCM3/CCLM zeigen erst eine deutliche Abnahme der Verbreitung in Hessen 2050 mit anschließender leichter Zunahme 2100. ECHAM5/REMO dagegen beschreibt eine deutliche Ausbreitung. ECHAM5 (1 km) wiederum gibt 2050 einen starken Rückgang an mit anschließender Verlagerung des Verbreitungsgebiets in den Raum Wiesbaden. Alle Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten prognostizieren bereits für 2050 ein Verschwinden der Art in Hessen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Scleranthus verticillatus ist auf wenige Saumstandorte mit lückiger Magerrasenvegetation in Mittelhessen beschränkt. Aus botanischer Sicht dürfte die Pflanze potentiell durch den Klimawandel begünstigt werden, wichtiger jedoch ist das Vorhandensein entsprechend genutzter Standorte.

Sumpf-Fetthenne (*Sedum villosum*)

Verbreitung: Nordeuropa (Island, Schottland, Norwegen, Schweden), West- und Mitteleuropa, Gebirge Südeuropas und Nordafrika, nordöstliches Nordamerika. Früher wahrscheinlich zerstreut in ganz Hessen verbreitet, im 19. Jahrhundert hauptsächlich in den Hochlagen von Vogelsberg und Rhön. Heute noch Vorkommen auf Gemeindeweiden des Ulstertales in der Rhön sowie kleine Vorkommen an Wegrändern im Vogelsberg.

Ökologie: Feuchtgebiete, v.a. Quellorte mit offenen Bodenstellen.

Status: RL Deutschland 1, RL Hessen 2, besondere Verantwortung Hessens für Vorkommen in Deutschland.

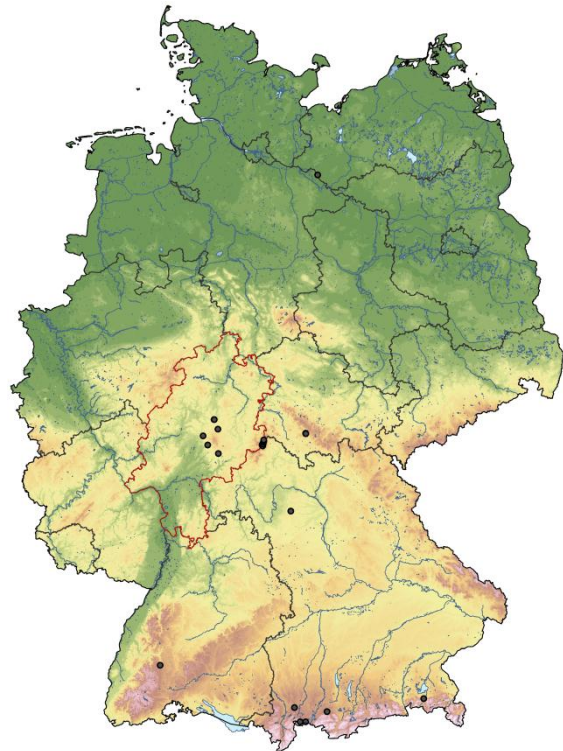


Abbildung 54: *Sedum villosum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 86-87):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	--	-	0	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen einen starken Rückgang bis 2100. Bei HADCM3/CCLM ist die Art schon 2050 komplett verschwunden. ECHAM5 (1 km) beschreibt die Verlagerung der Verbreitung in höhere Regionen, bis sich das Verbreitungsgebiet der Sumpf-Fetthenne 2100 nur noch auf die Wasserkuppe beschränkt. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten prognostizieren bereits 2050 ein Verschwinden der Art aus Hessen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Heute ist die Pflanze auf Hochlagengrünland beschränkt. Im 19. Jahrhundert bestand keine Beschränkung auf bestimmte Höhenlagen. Die Pflanze dürfte durch den Klimawandel beeinträchtigt werden, da sie auf Quellstandorte beschränkt ist. Allerdings ist die kontinuierliche Weidenutzung von Quellen für das Vorkommen der ausschlaggebende Faktor.

Fünfmänniger Spark (*Spergula pentandra*)

Verbreitung: Hauptverbreitungsgebiet im westsubmediterranen Raum in Spanien und Frankreich. In Deutschland nördliche Arealgrenze. Vorkommen in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen, Bayern und Rheinland-Pfalz (Verbreitungsschwerpunkt). Aktuell Vorkommen in Nordhessen in der Wegaer Ederaue und im Homberger Hochland am Rand zur Westhessischen Senke. In Mittelhessen überwiegend im Gladenbacher Bergland und im Marburg-Gießener Lahntal, ein Vorkommen auch im Limburger Becken (Teuber 2002).

Ökologie: Flachgründige Silikatmagerrasen oder Silikatfelsflure sowie Sandmagerrasen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1, Rheinland-Pfalz und Hessen besitzen besondere Verantwortung für Erhalt in Deutschland.

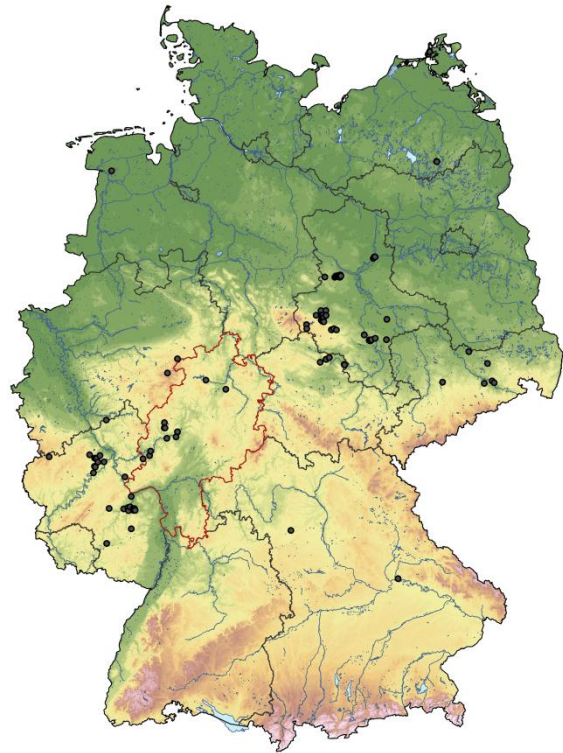


Abbildung 55: *Spergula pentandra*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 88-89):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	-	+	0	+	0	+
2071- 2100	0	-	++	0	(-)	+	++

Die Modellierungsergebnisse zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Aus botanischer Sicht dürfte die Pflanze potentiell durch den Klimawandel begünstigt werden. Jedoch dürfte für ihr Vorkommen in Hessen das Vorhandensein lückiger, kalkfreier Magerrasen von größerer Bedeutung sein.

Bayrischer Sumpflöwenzahn (*Taraxacum bavaricum*)

Verbreitung: Europäischer Endemit mit Areal von Italien, Österreich und Deutschland bis nach Polen, die Tschechische Republik und Ungarn. In Deutschland in Kalkgebieten der Tieflagen ehemals weit verbreitet.

Ökologie: Quelliges, auch wechselfeuchtes Grünland auf kalkhaltigen Böden.

Status: RL Deutschland nicht bewertet; RL Hessen 0.

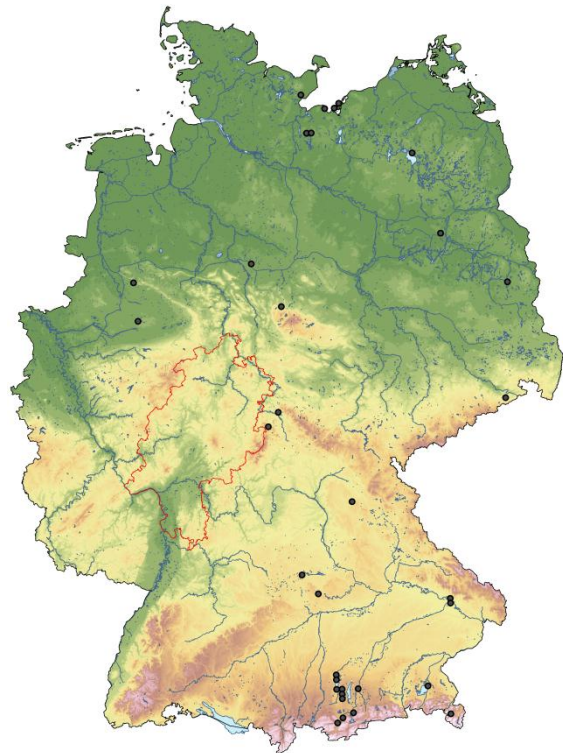


Abbildung 56: *Taraxacum bavaricum*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Deutscher Sumpflöwenzahn (*Taraxacum germanicum*)

Verbreitung: Selten in Süd-Bayern und Hessen. In Hessen in den Naturschutzgebieten „Salzwiesen von Münzenberg“, „Salzwiesen von Wisselsheim“, „Salzwiesen und Weinberg von Selters“ sowie „Mönchbruch von Mörfelden und Rüsselsheim“.

Ökologie: Nährstoffarme Nasswiesen, häufig auch Nasswiesen mit hohem Salzgehalt.

Status: RL Hessen 2.

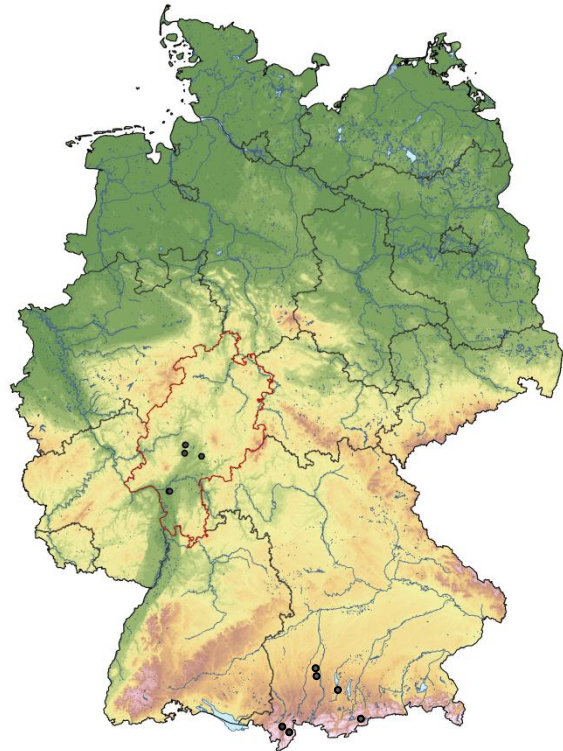


Abbildung 57: *Taraxacum germanicum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 90-91):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	0	++	+	0	0
2071- 2100	+	++	0	-	-	+	0

Die Modellierungsergebnisse zeigen keinen klaren Trend.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf Feuchtgrünland angewiesen und dürfte aus botanischer Sicht durch den Klimawandel beeinträchtigt werden. Allerdings ist die Weiterführung extensiver Grünlandnutzung von Feuchtstandorten der ausschlaggebende Faktor für das weitere Vorkommen der Pflanze in Hessen.

Holländischer Sumpflöwenzahn (*Taraxacum hollandicum*)

Verbreitung: In Deutschland in Rheinland-Pfalz, Hessen, Süd-Baden-Württemberg sowie vereinzelt in Bayern und Thüringen. In Hessen fast nur in Naturschutzgebieten zu finden.

Ökologie: Nährstoffarme Nasswiesen, häufig auch Nasswiesen mit hohem Salzgehalt.

Status: Vorwarnliste der Roten Liste Hessens.

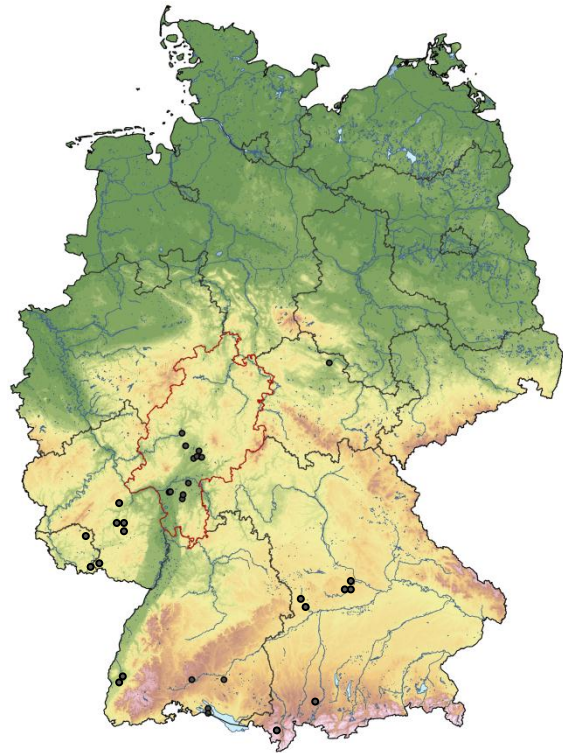


Abbildung 58: *Taraxacum hollandicum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 92-93):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	0	++	-	--	+
2071- 2100	++	(+)	+	+	--	--	--

Alle Klima-Modellierungen zeigen eine mehr oder weniger stark ausgeprägt Zunahme der Verbreitung. Bei den Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten wird ein starker Rückgang der Art prognostiziert. Nur ECHAM5/REMO mit Landnutzung zeigt erst eine Zunahme in Südwesten Hessens 2050, bevor eine deutliche Abnahme der Verbreitung erfolgt.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf Feuchtgrünland angewiesen und dürfte aus botanischer Sicht durch den Klimawandel beeinträchtigt werden. Allerdings ist die Weiterführung extensiver Grünlandnutzung von Feuchtstandorten der ausschlaggebende Faktor für das weitere Vorkommen der Pflanze in Hessen.

Reichschuppiger Sumpflöwenzahn (*Taraxacum multilepis*)

Verbreitung: In Deutschland sehr selten am Bodensee und in der Wetterau.

Ökologie: Nährstoffarme Nasswiesen, häufig auch Nasswiesen mit hohem Salzgehalt.

Status: RL Hessen 2.

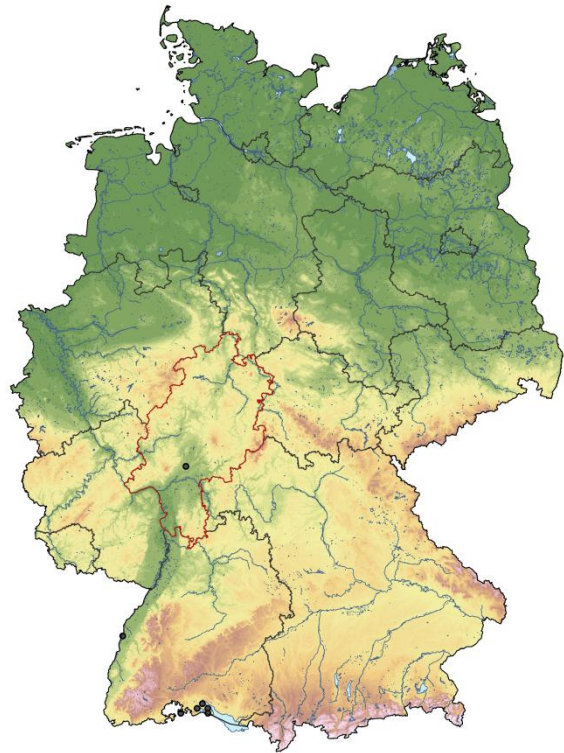


Abbildung 59: *Taraxacum multilepis*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Gänse-Sumpflöwenzahn (*Taraxacum pauckertianum*)

Verbreitung: Europäischer Endemit mit Areal von der Schweiz und Frankreich bis in die Niederlande und Deutschland.

Ökologie: Nasswiesen und -weiden.

Status: RL Deutschland nicht bewertet; RL Hessen 0.

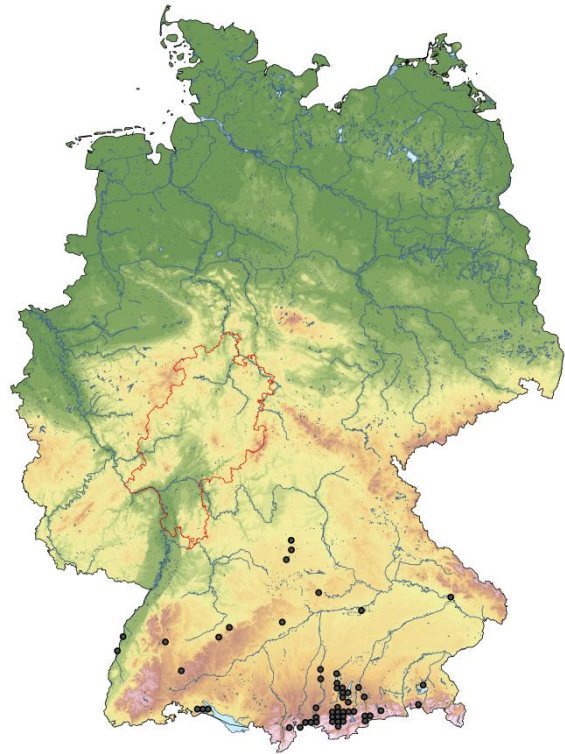


Abbildung 60: *Taraxacum pauckertianum*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Krummholz-Sumpflöwenzahn (*Taraxacum subalpinum*)

Verbreitung: In Deutschland in West-Niedersachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern sowie an zwei Stellen in Hessen, bei Gießen und Naturschutzgebiet „Nachtweide von Dauernheim“.

Ökologie: Nährstoffarme Nasswiesen, häufig auch Nasswiesen mit hohem Salzgehalt.

Status: RL Hessen 1.

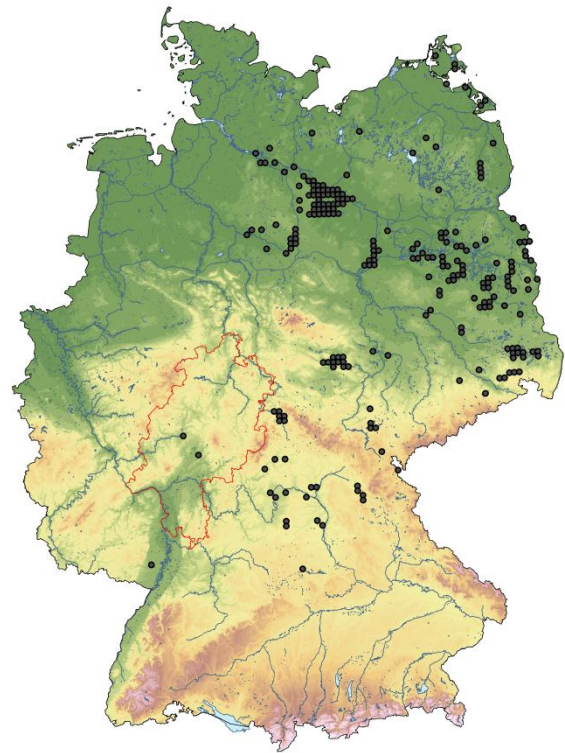


Abbildung 61: *Taraxacum subalpinum*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Stufenblättriger Sumpflöwenzahn (*Taraxacum trilobifolium*)

Verbreitung: In Deutschland in Süd-Bayern sowie vereinzelt in West-Bayern, Thüringen und Süd-Hessen. In Hessen in den Naturschutzgebieten „Rodwiese“, „Erlensteg von Bieber“ und „Mönchbruch von Mörfelden und Rüsselsheim“.

Ökologie: Nährstoffarme Nasswiesen, häufig auch Nasswiesen mit hohem Salzgehalt.

Status: RL Hessen 2.

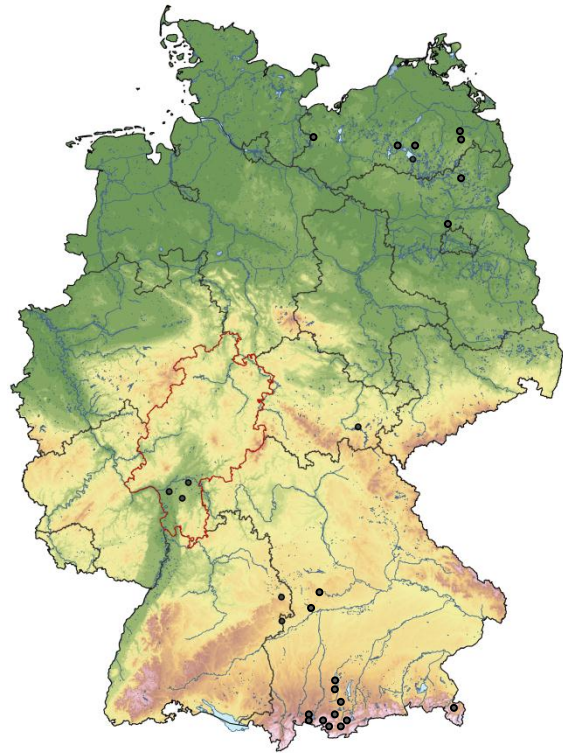


Abbildung 62: *Taraxacum trilobifolium*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 94-95):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	+	+	++	+	+	++
2071- 2100	++	+	++	++	++	+	++

Alle Modellierungen zeigen eine deutliche bis starke Zunahme. Bei ECHAM5/CCLM und ECHAM5/REMO erstreckt sich 2100 das Verbreitungsgebiet über ganz Hessen, während bei HADCM3/CCLM nur Westerwald und Region Spessart besiedelt sind. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzung präsentieren die gleiche Entwicklung. ECHAM5 (1 km) beschreibt erst eine Ausbreitung in Südwest-Hessen 2050 mit anschließender Ausbreitung auf Süd-Hessen und Wetterau 2100.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf Feuchtgrünland angewiesen. Aus botanischer Sicht wären negative Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten. Die durchgeführten Modellierungen sagen jedoch ein Profitieren durch den Klimawandel voraus. Die Weiterführung extensiver Grünlandnutzung von Feuchtstandorten ist allerdings der ausschlaggebende Faktor für das weitere Vorkommen der Pflanze in Hessen.

Spatelblättriges Greiskraut (*Tephroseris helenitis*)

Verbreitung: Mitteleuropa, von Nordfrankreich und Südbelgien über das Rheinland, Westfalen und das Wesertal bis zum Südharz und Thüringen im Osten sowie südlich von Oberösterreich über das Schweizer Mittelland bis zum Jura. Teilareale im französischen Zentralplateau und in Nordspanien (Pyrenäen und Galizien). In Deutschland Alpen und Alpenvorland sowie zerstreut in Mittel-Bayern, Franken und Baden-Württemberg. Verstreut in Rheinland-Pfalz und Thüringen. In Hessen sehr selten, Naturschutzgebiete Katzenstein und Kleiner Mehlberg.

Ökologie: Wechselfeuchte, extensiv genutzte Wiesen, Quellsümpfe, Niedermoore und lichte Laubwälder.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 2.

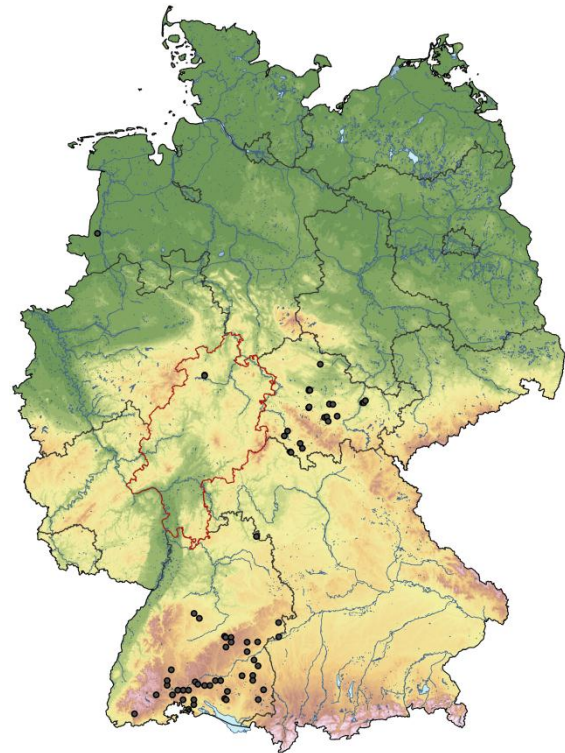


Abbildung 63: *Tephroseris helenitis*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Moor-Klee (*Trifolium spadiceum*)

Verbreitung: Mittel- und südeuropäische Gebirge und Nordeuropa, von Pyrenäen im Westen über südfranzösische Gebirge, Jura, die Süd- und Ostalpen, Serbien und Bulgarien bis zum Kaukasus im Osten. Nördlich bis zum hessischen Bergland und vereinzelt bis zur Elbe sowie nach Schweden, Finnland, Baltikum und Ural. In Deutschland zerstreut in Süd-Thüringen, Süd-Sachsen, Harz, Hessen. Selten in Mittel- und Nordbayern sowie im Südwest-Baden-Württemberg im Schwarzwald, Nordost-Rheinland-Pfalz, Südost-Nordrhein-Westfalen sowie Südost-Niedersachsen. In Hessen aktuell in Taunus, Vogelsberg und Rhön sowie Westerwald und Knüll-Hochland.

Ökologie: Feuchte, vorwiegend montane Moor- und Magerwiesen, Quellmoore sowie Graben- und Wegränder.

Status: RL in Deutschland 2, RL Hessen 2.

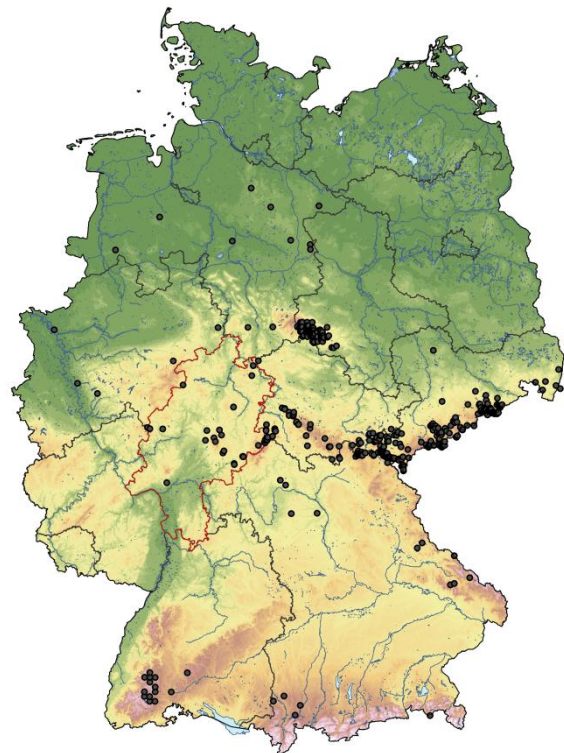


Abbildung 64: *Trifolium spadiceum*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 96-97):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	--	--	--	-	--	-
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen sagen ein (nahezu) vollständiges Verschwinden der Art in Hessen vorher. ECHAM5/CCLM, ECHAM5/REMO, ebenfalls mit Landnutzung, und ECHAM5 (1km) beschreiben erst einen Rückzug in höhere Lagen, v.a. Rhön.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Pflanze ist auf gestörtes Feuchtgrünland angewiesen und dürfte auch aus botanischer Sicht durch den Klimawandel beeinträchtigt werden.

Zweifelhafter Grannenhafer (*Ventenata dubia*)

Verbreitung: Mehrere disjunkte Teilareale in West-, Mittel- und Südeuropa. In Deutschland zerstreut in Mittel-Hessen, Südwest-Rheinland-Pfalz, Nordwest-Thüringen und unbeständig in West-Sachsen-Anhalt. In Hessen in der Wetterau, Raum Gießen-Marburg, Vogelsberg, Westerwald, Raum Eder, Rüsselsheim und dem äußersten Westen Hessens.

Ökologie: Trockene, sandige Ruderalstellen und ruderal beeinflusste Xerothermrasen.

Status: RL Deutschland 3, RL Hessen 3, Besondere Verantwortung Hessens für Erhalt in Deutschland.

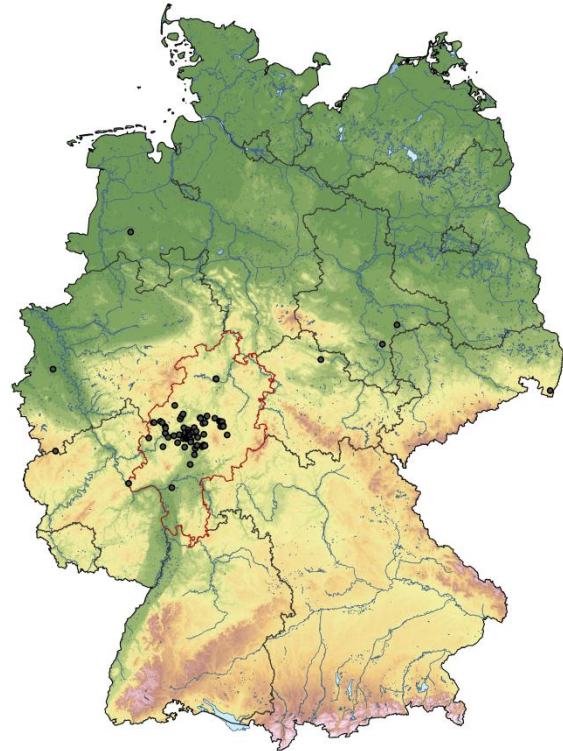


Abbildung 65: *Ventenata dubia*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 98-99):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	-	--	--	--
2071- 2100	--	--	--	--	--	--	--

Alle Modellierungen zeigen einen starken Rückgang der Art, teilweise bis zum Verschwinden. ECHAM5 (1 km) beschreibt einen Rückzug in höhere Lagen, v.a. Vogelsberg, 2050, bevor die Art 2100 verschwindet.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Der Zweifelhafte Grannenhafer dürfte in Zukunft – trotz der negativen Arealprognosen der Modellierungen – aus botanischer Sicht gefördert werden. Die Modellierungsergebnisse beschreiben jedoch das Gegenteil. Obwohl die Pflanze als Ackerunkraut in Hessen nahezu erloschen ist, bilden Basaltgruben günstige Standorte. Das Vorkommen der Pflanze in Hessen ist momentan vom Umfang des Basaltabbaus und der Vernetzung der Gruben abhängig.

Drüsiger Ehrenpreis (*Veronica acinifolia*)

Verbreitung: Mediterran bis submediterran, von Kleinasien über die Balkanhalbinsel, nördliche Mittelmeerländer bis nach Mitteleuropa, Nordfrankreich und Belgien. In Hessen nördliche Verbreitungsgrenze. Im 19. Jahrhundert als Ackerunkraut im Gebiet zwischen Gießen, Grünberg und Lich verbreitet. Einzige heutige Vorkommen in Hessen bei Pohlheim-Hausen.

Ökologie: Ackerfurchen und -ränder, Ufer flacher Tümpel sowie feuchte Waldwege. In Hessen extensiv genutzte, besonnte Fläche am Rand von Grünland, zwischen einem asphaltierten Weg und einem Fichtenforst (Teuber & Emrich 2004).

Status: RL Deutschland 1, RL Hessen 1.

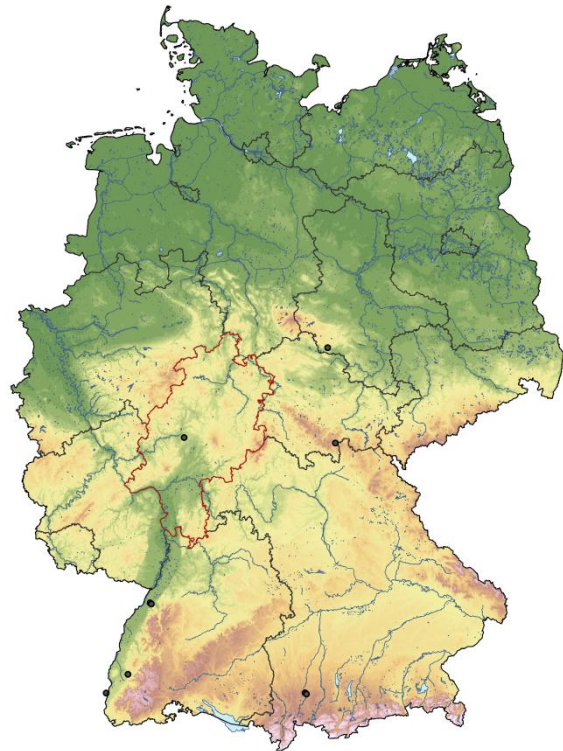


Abbildung 66: *Veronica acinifolia*, Verbreitung in Deutschland.

Aufgrund zu weniger Fundpunkte in Hessen ist eine Modellierung der Verbreitung dieser Art nicht möglich.

Niedriges Veilchen (*Viola pumila*)

Verbreitung: Westliches Eurasien. Hauptverbreitung in Steppenregionen der ungarischen Tiefebene, Osteuropas und Westsibiriens. In Mitteleuropa fast nur in Stromtalgebieten wie z.B. entlang des Rheins, der Donau, der Oder oder Weichsel. Westlichste Vorposten in Burgund, nördlichste an der Ostsee bei 59° nördl. Breite sowie der südlichste bei 42° auf der Balkanhalbinsel. In Deutschland an Donau und Main in Mittel- und Nordwest-Bayern, Nordwest-Baden-Württemberg sowie am Rhein im Osten von Rheinland-Pfalz, Nord-Thüringen, Nordwest-Sachsen, Sachsen-Anhalt an Elbe, Saale, Unstrut und Bode, Süd-Hessen. In Hessen v.a. am Rhein.

Ökologie: Wechselfeuchte und moorige Wiesen.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 2, starke Verantwortung Deutschlands für den Erhalt.

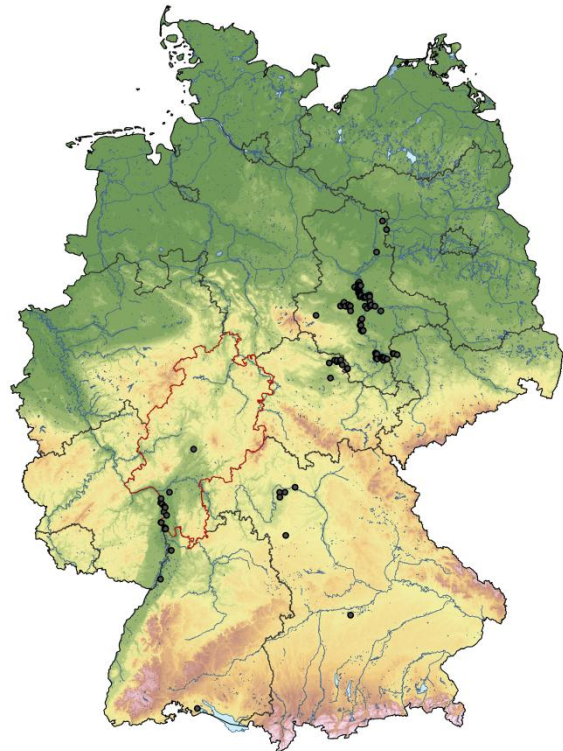


Abbildung 67: *Viola pumila*, Verbreitung in Deutschland.

Modellierung (siehe Anhang Seite 100-101):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	+	0	(-)	+	+	+	-
2071- 2100	+	+	+	-	--	--	--

Die Klima-Modellierungen zeigen größtenteils eine Zunahme bis 2100. ECHAM5/CCLM zeigt eine leichte, stetige Zunahme der Verbreitung in Hessen, HADCM3/CCLM und ECHAM5/REMO stattdessen erst eine Abnahme 2050 mit anschließender Zunahme. ECHAM5 (1 km) beschreibt zuerst eine leichte Ausbreitung 2050 mit darauf folgendem starken Rückgang. Die Modellierungen mit ECHAM5/CCLM bzw. HADCM3/CCLM und Landnutzung schildern zuerst eine Zunahme 2050 mit starker Abnahme 2100, während ECHAM5/REMO mit Landnutzung direkt einen starken Rückgang vorhersagt.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Das hessische Verbreitungsgebiet ist auf wechselfeuchtes Grünland der Oberrheinebene beschränkt. Derartiges Grünland dürfte durch eine Erwärmung des Klimas potentiell rückläufig sein. Der Schutz der verbliebenen, sehr kleinflächigen Bestände sollte hohe Priorität haben.

Moorglöckchen (*Wahlenbergia hederacea*)

Verbreitung: Europäischer Endemit atlantischer Verbreitung; Frankreich und Nordwesten der Iberischen Halbinsel über Südwest- und Südküste Irlands nach Wales, Cornwall, Devon und Sussex in Großbritannien. Östlich belgische Ardennen und Elsass. In Deutschland das bedeutendste Vorkommen an Grenze Rheinland-Pfalz/Saarland im südwestlichen Hundsrück. Weiterhin Nordrhein-Westfalen Raum Köln-Aachen, Baden-Württemberg bei Kreuzmoos-Hof und Rheinland-Pfalz zwischen Landstuhl und Kaiserslautern. In Hessen heute nur noch kleine Restbestände an zwei teilweise befestigten und befahrenen Schneisen im Rüsselsheimer Wald, im Odenwald nur noch sehr kleine Bestände (Hodvina & Cezanne 2012). Im Taunus angesalbtes Vorkommen.

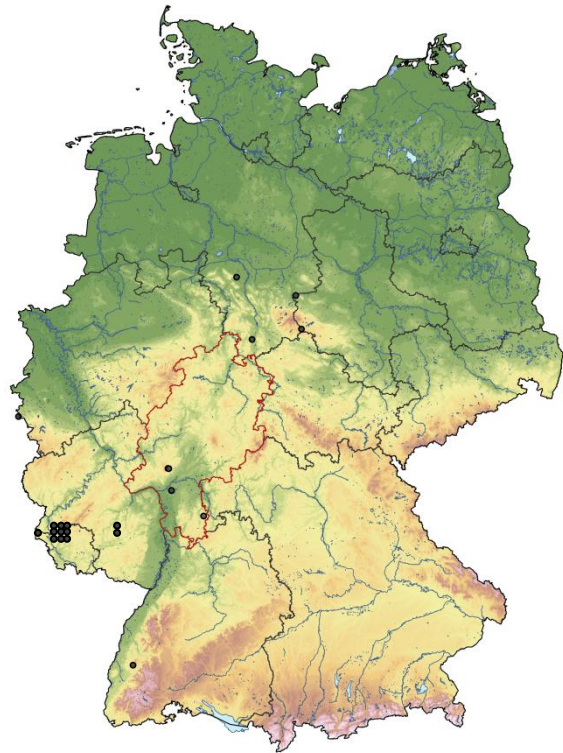


Abbildung 68: *Wahlenbergia hederacea*, Verbreitung in Deutschland.

Ökologie: Sicker- bis staunasse Nieder- und Quellmoore, Gräben, Erlenbrüche.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1.

Modellierung (siehe Anhang Seite 102-103):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	-	(-)	0	-	++	++	+
2071- 2100	+	0	+	-	++	++	++

Die Ergebnisse der Klima-Modellierungen zeigen keinen klaren Trend. ECHAM5/CCLM und ECHAM5/REMO beschreiben eine Zunahme der Verbreitung bis 2100, während HADCM3/CCLM erst eine Abnahme 2050 mit anschließender Zunahme der Verbreitung in der Westerwald-, Vogelsberg- und Spessart-Region zeigt. Bei ECHAM5 (1 km) ist eine tendenzielle Abnahme zu sehen. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten sagen alle eine Ausbreitung der Art voraus.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Diese ausgeprägt atlantische Pflanze befindet sich im Rest ihres natürlichen hessischen Areals im Mönchbruchgebiet wegen der Austrocknung dieses Bereiches kurz vor dem Erlöschen. Aus botanischer Sicht dürfte der Klimawandel, bei sonst gleichbleibenden Bedingungen, das Verschwinden des Moosglöckchens herbeiführen.

Südlicher Wimpernfarn (*Woodsia ilvensis*)

Verbreitung: Boreale und gemäßigte Zone der Nordhalbkugel. In Europa v.a. in Skandinavien und Island, südlich bis Alpenraum, Mittelgebirge Zentraleuropas bis zu Karpaten. In Deutschland sehr selten. In Hessen nur im Habichtswald und in der Rhön sowie außerhalb Hessens in der bayrischen Rhön, im Harz, im Thüringer Wald und im Schwarzwald.

Ökologie: Nicht oder wenig beschattete Spalten kalkarmer Felsen naturnaher Standorte.

Status: RL Deutschland 2, RL Hessen 1, nach der Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt.

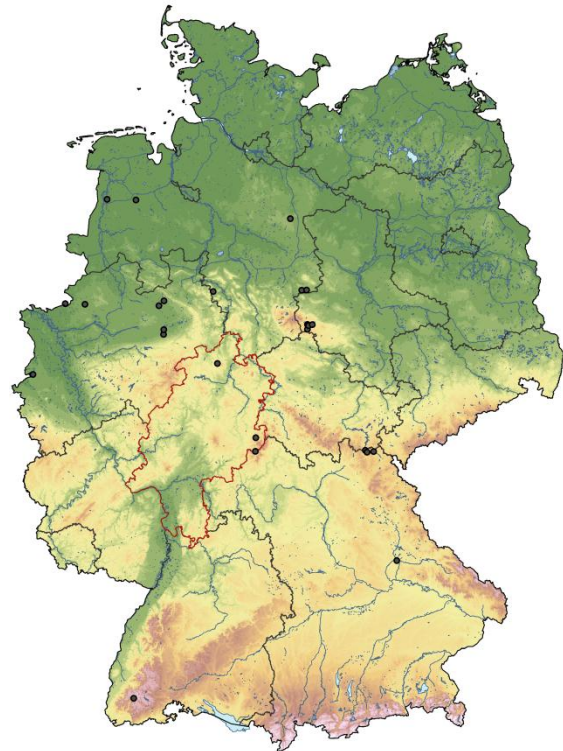


Abbildung 69: *Woodsia ilvensis*, Verbreitung in Deutschland. Eine Überprüfung der Fundangaben ergab, dass es sich bei den Punkten in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen um fehlerhafte Angaben handelt.

Modellierung (siehe Anhang Seite 104-105):

Zeitraum	ECHAM5/CCLM	HADCM3/CCLM	ECHAM5/REMO	ECHAM5 1km	ECHAM5/CCLM + Landnutzung	HADCM3/CCLM + Landnutzung	ECHAM5/REMO + Landnutzung
2031- 2060	--	--	--	Keine Modellierung	0	0	0
2071- 2100	--	--	--	Keine Modellierung	-	-	0

Die Klima-Modellierungen beschreiben alle ein Verschwinden der Art bis 2050. Die Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten zeigen einen Rückzug in höhere Regionen.

Naturschutzfachliche Folgerungen:

Die Vorkommensbedingungen des Südlichen Wimpernfarns dürften sich durch den Klimawandel weiter verschlechtern und mit dem Aussterben der Pflanze an ihren verbliebenen drei Wuchsorten ist zu rechnen. Allerdings ist die direkte Nachstellung durch Pflanzenliebhaber heute der entscheidende Faktor für den Rückgang der Pflanze.

4. Diskussion

4.1 Der Klimawandel und seine Folgen: Prognosen zur Artverbreitung

Gegenstand unserer Untersuchungen ist die Abschätzung der zukünftigen potenziellen Areale der ausgewählten Arten auf der Basis von ökologischer Nischenmodellierung und aktueller sowie prognostizierter Umweltdaten. Selbst bei dem A1B-Szenario mit moderater Klimaerwärmung wird deutschlandweit von einem Verlust von 15-19 Prozent der lokalen Arten ausgegangen, wobei die höchsten Aussterberaten für das östliche und südwestliche Deutschland vorausgesagt wurden (Pompe et al. 2008). Der in der hier vorgestellten Studie prognostizierte Verlust von knapp einem Viertel der hessischen Arten übersteigt somit die Erwartungen. Allerdings wurden hier auch nur die naturschutzrelevanten Arten behandelt, deren hessische Vorkommen aufgrund der geringen Größe der besiedelten Areale stärker gefährdet sind als bei nicht-gefährdeten Arten mit meist größeren Verbreitungsarealen. Ein weiteres Problem stellt die Arealreduktion bei vielen Arten dar, durch welche der Fortbestand der betroffenen Arten langfristig gefährdet ist, eine Beobachtung, die die gesamte deutsche Flora betrifft (Pompe et al. 2008). Nichtsdestotrotz gibt es auch Arten, für die eine Klimaerwärmung Vorteile bringt.

Generell wäre für die hessische Flora zu erwarten, dass wärmeliebende Arten durch die globale Klimaerwärmung expandieren und dass Arten der Hochlagen, d.h. Kühlezeiger, langfristig starken Arealreduktionen bis hin zur Auslöschung unterworfen sind. Neunzehn der hier untersuchten Arten gelten nach Ellenberg (2001) als Wärmezeiger bzw. Extreme Wärmezeiger (Tabelle 9), die von einer Temperaturerhöhung profitieren sollten.

Tabelle 9: Wärmezeiger oder Extreme Wärmezeiger gemäß der Zeigerwerte nach Ellenberg (2001).

<i>Anacamptis pyramidalis</i>
<i>Androsace elongata</i>
<i>Bassia laniflora</i>
<i>Cnidium dubium</i>
<i>Dictamnus albus</i>
<i>Festuca duvalii</i>
<i>Fumana procumbens</i>
<i>Iris spuria</i>
<i>Linum leonii</i>
<i>Linum tenuifolium</i>
<i>Mibora minima</i>
<i>Moenchia erecta</i>
<i>Nigella arvensis</i>
<i>Oenanthe peucedanifolia</i>
<i>Orobanche arenaria</i>
<i>Poa badensis</i>
<i>Scleranthus verticillatus</i>
<i>Ventenata dubia</i>
<i>Viola pumila</i>

Vier dieser Arten (*Cnidium dubium*, *Iris spuria*, *Oenanthe peucedanifolia* und *Viola pumila*) sind nach Ellenberg (2001) gleichzeitig Feuchte- bis Nässezeiger und besiedeln dementsprechend feuchte bis nasse Standorte. Aus diesem Grund werden diese Arten durch geringere Sommerniederschläge, die nach den Klimaprojektionen zu erwarten sind, beeinträchtigt (s.u.). Bei den restlichen Arten handelt es sich um Starktrocknis- bis Trockniszeiger, die an hohe Temperaturen und geringe Feuchtigkeit angepasst sind. Diese Arten können bei Vorkommen geeigneter Lebensräume durch den Klimawandel profitieren.

Euphrasia frigida und *Rhinanthus glacialis* sind Kühlezeiger, die nur in höheren Lagen vorkommen. Nach den Ellenberg'schen Zeigerwerten sind *Carex lasiocarpa*, *Trifolium spadicum* und *Woodsia ilvensis* Kühle- bis Mäßigwärmezeiger (ebenfalls eher höhere Lagen). Für diese Arten kann daher eine Verschiebung der Areale in Richtung kühlerer/höherer Lagen oder eine Arealreduktion angenommen werden. Neben den oben genannten vier Arten (*Cnidium dubium*, *Iris spuria*, *Oenanthe peucedanifolia* und *Viola pumila*) gibt es zehn weitere Feuchte- bis Nässezeiger (Tabelle 10). Für diese Arten wird die prognostizierte Abnahme der Sommerniederschläge ebenfalls negative Folgen hinsichtlich der Areale in Hessen haben.

Tabelle 10: Feuchte- bis Nässezeiger nach Ellenberg (2001).

Arabis nemorensis
Carex lasiocarpa
Dactylorhiza incarnata
Gentiana pneumonanthe
Iris sibirica
Sedum villosum
Tephrosieris helenitis
Trifolium spadicum
Veronica acinifolia
Wahlenbergia hederacea

Für viele Arten bestätigen die Modellierungen die aufgrund der Standortansprüche erwarteten Arealveränderungen in Folge des Klimawandels (Tabelle 11). So wird für die meisten wärme liebenden Arten eine Arealvergrößerung prognostiziert. Wenn Temperatur der ausschlaggebende Faktor für die Verbreitung ist, wäre aufgrund der zukünftigen Klimabedingungen auch für *Cnidium dubium*, *Iris spuria*, *Viola pumila* eine Vergrößerung des Verbreitungsgebietes zu erwarten.

Die beiden an niedrige Temperaturen angepassten Arten der Hochlagen, *Euphrasia frigida* und *Rhinanthus glacialis*, zeigen in den Modellierungen den aufgrund des Klimawandels erwarteten Rückzug in noch höhere Regionen (sofern möglich) und, abhängig vom Grad der Temperaturzunahme, gegebenenfalls auch das vollständige Erlöschen der Vorkommen in Hessen.

Tabelle 11: Arten, deren Modellierungsergebnisse den erwarteten Arealveränderungen entsprechen. Je nach Datenquelle (nur Klimadaten oder Klima- und Landnutzungsdaten) können die prognostizierten Arealveränderungen gegensätzlich ausfallen (weitere Erläuterungen siehe Text). Bei zwei Arten lassen sich die erwarteten Arealveränderungen nur bei bestimmten Klimamodellen beobachten (z.B. ECAHM5/CCLM). Die Einschätzung der Folgen des Klimawandels beruhen auf den bekannten Standortansprüchen der Arten (siehe Zeigerwerte nach Ellenberg 2001) und den Landnutzungsbedingungen heutiger Standorte. + Vergrößerung des Verbreitungsgebietes, - Verkleinerung des Verbreitungsgebietes, + Vergrößerung des Verbreitungsgebietes stimmt mit Erwartung überein, wenn die Temperatur der einflussreichste Faktor für die Verbreitung ist und der Niederschlag am Standort eine untergeordnete Rolle spielt. * Erwartungen werden für diese Arten zwar für die Modellierungen mit Klimadaten erfüllt, jedoch nicht für Modellierungen mit Klima- und Landnutzungsdaten. Wärme- (W) und Kühlezeiger (K) nach Ellenberg (2001).

Art	Zeiger	Datenquelle	
		Klima	Klima + Landnutzung
<i>Alyssum montanum</i> subsp. <i>gmelinii</i>		+ (ECHAM5/CCLM, HADCM3/CCLM)	-
<i>Aster amellus</i>		+ (REMO/UBA, ECHAM5 (1km))	*
<i>Bassia laniflora</i>	W	+	-
<i>Cnidium dubium</i>	W	+	*
<i>Dactylorhiza incarnata</i>		+	*
<i>Euphrasia frigida</i>	K	-	-
<i>Festuca duvalii</i>	W	+	-
<i>Gentiana pneumonanthe</i>		+	*
<i>Hypochaeris maculata</i>		-	-
<i>Iris sibirica</i>		+	*
<i>Iris spuria</i> subsp. <i>spuria</i>		+	*
<i>Mibora minima</i>	W	+	*
<i>Oenanthe peucedanifolia</i>	W	+	*
<i>Orobancha arenaria</i>	W	+	-
<i>Poa badensis</i>	W	+	-
<i>Ranunculus hederaceus</i>		-	-
<i>Rhinanthus glacialis</i>	K	-	-
<i>Sedum villosum</i>		-	-
<i>Trifolium spadiceum</i>		-	-
<i>Viola pumila</i>	W	+	-

Insgesamt ist hier natürlich zu betonen, dass es sich in allen Fällen um potenzielle Areale handelt. Unberücksichtigt bleibt hier der sehr wichtige Faktor des Ausbreitungspotenzials der Arten, d.h. die Frage, ob sie mit ihren Ausbreitungsstrategien die klimatisch verursachte Arealverschiebung überhaupt realisieren können.

4.2 Einfluss von Landnutzungsdaten auf die Modellierung

Menschlicher Einfluss, insbesondere Landnutzung und deren Wandel, spielt in Mitteleuropa eine entscheidende, wahrscheinlich immer noch in seiner Bedeutung zunehmende Rolle (z.B. Gregor et al. 2012). Die Kombination von Klima- und Landnutzungsdaten ergibt daher häufig ein realistischeres Ergebnis der potenziellen Areale als Klimadaten allein. Viele Arten sind auf Habitate angewiesen, die durch den Landnutzungswandel in Rückgang begriffen sind. Bei solchen Arten muss also von einer Arealreduktion ausgegangen werden, obwohl die klimatischen Bedingungen eher eine positive Arealentwicklung vermuten ließen. Abgesehen vom Verschwinden geeigneter Habitate liegt dies auch daran, dass geeignete Lebensräume meistens nicht großflächig vorliegen und somit eine Ausbreitung in die klimatisch geeigneten Gebiete nur mit Verzögerung stattfinden kann.

Dactylorhiza incarnata, das Fleischrote Knabenkraut, könnte beispielsweise vom Klimawandel profitieren, wenn geeignete Habitate vorhanden wären. Es wächst in Flachmoorgrünland in wärmebegünstigten Gebieten. Die Grünlandnutzung von Flachmoorstandorten nimmt allerdings stetig ab, so dass die klimatischen Faktoren für die Arealprognose in den Hintergrund treten. Ähnlich verhält es sich bei *Iris spuria*. Sie besitzt sehr spezielle Standortansprüche und wächst nur in salzbeeinflusstem, extensiv genutztem Grünland. Aufgrund ihrer Klimaansprüche könnte die Art durch den Klimawandel profitieren, aber es ist anzunehmen, dass die Zahl der geeigneten Standorte zurückgeht.

Auch wenn durch die Kombination von Klima- und Landnutzungsdaten oftmals ein verbessertes Abbild erzielt wird, prognostizierte die Modellierung in einigen Fällen nicht die den Erwartungen entsprechenden Arealentwicklungen. Eine mögliche Ursache liegt in der Struktur der verfügbaren Landnutzungsdaten, denn diese sind in relativ wenige Landnutzungsklassen gegliedert und daher für einige Nutzungsformen nicht differenziert genug. Für zukünftige Modellierungen wäre es deshalb wünschenswert, über feiner gegliederte Landnutzungsdaten zu verfügen.

4.3 Beurteilung der Modellierungsergebnisse

Neben dem Fehlen ausreichend differenzierter Landnutzungsdaten stellt auch die Verteilung der aktuellen Fundpunkte eine Quelle für unrealistische Prognosen hinsichtlich der Arealentwicklung dar, da bei einigen Arten mit sehr wenigen Fundpunkten oder extrem kleinräumiger Verbreitung das Ergebnis der Modellierung unbefriedigend erscheint. Des Weiteren liegen die Verbreitungspunkte bei Arten mit kleinem hessischem Areal nur in sehr wenigen

oder sogar nur in einem einzigen Rasterfeld der (vergleichsweise grob aufgelösten) Klimadaten. Hierauf ist unser Modellierungsansatz nicht ausgelegt. Um dem entgegenzuwirken, müssten für solche Arten die verwendeten Umwelt-Daten höher aufgelöst sein. Bei Auflösungen von 10 km oder mehr findet keine Unterteilung der unterschiedlichen klimatischen Lebensräume in einer Rasterzelle statt. Aufgrund der speziellen Standortansprüche sollte daher für Arten mit kleinräumiger Verbreitung eine Auflösung der Klimadaten von mindestens 1 km gegeben sein. Wenn das Modell optimal auf die aktuellen Bedingungen kalibriert ist, können außerdem zukünftige Verbreitungen realistischer modelliert werden.

In diesem Projekt wurden zum einen die auf das Land Hessen bezogenen Modelle des HLUG mit 10 bzw. 20 km Auflösung verwendet sowie ein weltweites Modell mit einer Auflösung von 1 km. Aufgrund der besseren Auflösung liefern letztere oft bessere Resultate als die auf Hessen bezogenen Modelle.

Bei manchen Arten mit kleinräumiger Verbreitung wie *Bassia laniflora* liefert die Modellierung dennoch befriedigende Ergebnisse. Diese und weitere Arten (z.B. *Euphrasia frigida*, *Festuca duvalii*, *Orobanche arenaria*, *Poa badensis*, *Rhinanthus glacialis*) sind durch viele kleinräumig verbreitete Fundpunkte charakterisiert, die sich auf einige nahe beieinander liegende Rasterfelder erstrecken. Dies scheint ausreichend für die Modellierung der hier untersuchten Arten mit kleinräumiger Verbreitung zu sein.

Entsprechend dem theoretischen Ansatz liefern Arten mit großflächiger Verbreitung in der Regel sinnvolle Ergebnisse bei der Modellierung des potenziellen Areals. Dies ist besonders der Fall, wenn die ökologische Amplitude der Art klein und gut charakterisiert ist.

4.4 Empfehlungen für Schutzmaßnahmen und Schlussfolgerung

Nach unseren Modellierungen wären im Jahr 2100 nur noch etwa drei Viertel der untersuchten naturschutzrelevanten Arten in Hessen vorhanden. Dieses Szenario weist auf die Notwendigkeit von geeigneten Schutzmaßnahmen zum Erhalt der kritischen Arten hin.

Eine voraussichtlich wichtigere Rolle als der Klimawandel wird der Landnutzungswandel spielen: Viele der untersuchten Arten sind an eine bestimmte, heute selten werdende Nutzung ihrer Standorte angewiesen. Um diese Arten zu schützen ist es entscheidend, die entsprechende Nutzung in den verbleibenden Gebieten sicher zu stellen. Eine wichtige Nutzungsart ist Beweidung, vielfach in Grenzertragsbereichen. Um z.B. Arten der Quellbereiche in Hochlagen (*Ranunculus hederaceus*, *Sedum villosum*) zu schützen, muss die Beweidung solcher Standorte fortgeführt werden. Weiterhin ist die Beweidung von Magerrasen bzw. Kalkmager-

rasen für die Erhaltung der Standorte einer größeren Zahl an hier untersuchten Arten wichtig. *Antennaria dioica*, *Linum leonii*, *Linum tenuifolium* und *Potentilla heptaphylla* sind nur einige Beispiele für solche Sippen, die auf diese Nutzung angewiesen sind.

Ebenfalls bedeutsam ist die extensive Nutzung von Äckern und Grünland. Viele der untersuchten Arten (z.B. *Arnoseris minima*, *Galeopsis ladanum*, *Mibora minima*) sind auf eine extensive Nutzung basenarmer, sandiger Böden angewiesen. Auch die extensive Nutzung wechselfeuchten und frischen Grünlandes ist für viele Arten von Bedeutung (z.B. für *Arabis nemorensis*, *Rhinanthus serotinus*, *Oenanthe peucedanifolia*).

Insbesondere die Erhaltung extensiv genutzten Grünlandes im Wasserkuppen-Gebiet (Rhön) sollte eine hohe Priorität haben, denn dort kommen einige der besonders gefährdeten Arten (*Euphrasia frigida*, *Hypochaeris maculata* und *Rhinanthus glacialis*) vor.

Bei Arten mit nur noch sehr kleinem Verbreitungsgebiet wie *Cnidium dubium*, *Campanula baumgartenii*, *Gentiana pneumonanthe*, *Viola pumila* muss zu ihrer Erhaltung der Schutz der verbliebenen, sehr kleinflächigen Bestände sichergestellt werden. *Campanula baumgartenii* kommt in Hessen nur im Taunus um Oberreifenberg vor. Um die Bestände zu erhalten, ist eine konsequente Beibehaltung oder Wiedereinführung extensiver, auf maximale Abschöpfung der Nährstoffe ausgerichteter Grünlandnutzung im Verbreitungsgebiet der Pflanze notwendig.

Moorstandorte werden im Zuge des Klimawandels zurückgehen. So bedürfen z.B. die verbliebenen Moore mit Vorkommen von *Carex lasiocarpa* des besonderen Schutzes, insbesondere im Hinblick auf eine Stabilisierung des Wasserhaushaltes.

Um Arten, die an frühere Nutzungsweisen des Waldes wie Waldweide, Mittel- und Niederwaldwirtschaft angepasst sind (*Dictamnus albus*), zu schützen, müsste diese Art der Waldnutzungen wieder aktiviert werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kenntnis der aktuellen Verbreitung sowie die Modellierungen der potenziellen aktuellen und zukünftigen Areale wichtige Hinweise auf die Arealentwicklung und auch die zukünftige Rolle bestehender Schutzgebiete geben. Bei Betrachtung der Standortansprüche muss aber davon ausgegangen werden, dass der Landnutzungswandel bzw. die Erhaltung anthropogener Habitats für einen Großteil der Arten eine entscheidendere Rolle spielen wird als der Klimawandel.

5. Literatur

- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012: Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15: 365-377.
- Bönsel, D., Gregor, T. & Buttler, K.P. 2002: Das Hügel-Knäulkraut (*Scleranthus verticillatus*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 14: 143-153.
- Bönsel, D. & Gregor, T. 2007: Der Lothringer Lein (*Linum leonii*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 19: 27–41.
- Bundesamt für Naturschutz: Floraweb – Daten und Informationen zu Wildpflanzen und zur Vegetation Deutschlands. URL: www.floraweb.de, letzter Zugriff: 21.01.2014.
- Buttler, K.P. & Hodvina, S. 2002: Die Verbreitung der Lanzenblättrigen Glockenblume (*Campanula baumgartenii*) im Taunus. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 14: 57-76.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V. & Werner, W. 2001: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, Erich Goltze GmbH & Co KG; Göttingen. 18: 3. Auflage, 262 Seiten.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A. et al. 2006: Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., En Chee, Y. & Yates, C.J. 2011: A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. 1997: A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24 (1): 38-49.
- Flacke, W., Dietrich, M., Griwodz, U. & Thomsen, B. 2010: Koordinatensysteme in ArcGIS – Praxis der Transformationen und Projektionen. Points Verlag Norden Halmstad. 399 Seiten.
- Frahm-Jaudes, B.E. & Maiweg, S. 2008: Der Efeublättrige Hahnenfuß (*Ranunculus hederaceus*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 21: 61-88.
- Gregor, T. & Lehmann, W. 2004: *Potentilla heptaphylla*, das Rötliche Fingerkraut in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 17: 63-76.
- Gregor, T., Bönsel, D., Starke-Ottich, I. & Zizka, G. 2012: Drivers of floristic change in large cities – A case study of Frankfurt/Main (Germany). *Landscape and Urban Planning* 104: 230-237.
- Guisan, A., Graham, C. H., Elith, J. & Huettmann, F. 2007: Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity Distributions* 13: 332-340.
- Hanley, J.A. & McNeil, B.J. 1982: The meaning and use of the area under the ROC curve. *Radiology* 143: 29-36.

Hanspach, J., Kühn, I., Pompe, S. & Klotz, S. 2010: Predictive performance of of plant species distribution models depends on species traits. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12: 219-225.

Hemm, K. 2008: Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens. – Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz; Wiesbaden. 4. Fassung, 188 Seiten.

Hemm, K., Huck, S. Buttler, K.P. & Kalheber, H. 2008: Der Nordische Augentrost (*Euphrasia frigida*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 21: 11-32.

Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. & Albert, D.L. 2006: The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2014: Umweltatlas Hessen. URL: <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/>, letzter Zugriff 29.01.2014.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J. & Elith, J. 2012: R-Package “dismo”, <http://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html>

Hodvina, S. & Buttler, K.P. 2002: Historische und aktuelle Verbreitung des Zwerggrases (*Mibora minima*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen*, 14: 91-118.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2004: Die Brenndolde (*Selinum venosum*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 17: 31-50.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2007: Der Acker-Schwarzkümmel (*Nigella arvensis*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 20: 6-88.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2007: Das Dünen-Steinkraut (*Alyssum montanum* subsp. *gmelinii*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 20: 25-51.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2007: Das Zwerg-Sonnenröschen (*Fumana procumbens*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 19: 43-67.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2008: Das Badener Rispengras (*Poa badensis*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 21: 33-60.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2008: Die Sand-Radmelde (*Bassia laniflora*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 21: 89-113.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2010: Der Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 23: 63-88.

Hodvina, S. & Cezanne, R. 2012: Das Moorglöckchen (*Wahlenbergia hederacea*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 25: 71-92.

- Hodvina, S., Cezanne, R., Harnisch, M. & Donath, T.W. 2007: Die Wiesen-Schwertlilie (*Iris spuria*) in Hessen. Botanik und Naturschutz in Hessen 19: 69-97.
- Hodvina, S., Cezanne, R., Schwab, R. & Huth, W. 2009: Das Dolden-Winterlieb (*Chimaphila umbellata*) in Hessen. Botanik und Naturschutz in Hessen 22: 107-141.
- Hodvina, S. & Wagner, W. 2009: Der Langstielige Mannsschild (*Androsace elongata*) in Hessen. Botanik und Naturschutz in Hessen 22: 47-71.
- Huck, S. 1999: Die Ästige Mondraute *Botrychium matricariifolium* im hessischen Buntsandsteinspessart. Natur und Museum 129: 107-116.
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, in press
- Jäger, E.J. (Hrsg.) 2011: Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. Spektrum Verlag, Heidelberg, 20. Auflage, 930 Seiten.
- Leadley, P., Pereira, H.M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarres, J.F., Proenca, V., Scharlemann, J.P.W. et al. 2010: Biodiversity scenarios: projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services. In: Secretariat of the Convention on Biological Diversity (ed. Diversity SotCoB). Published by the Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, p. 1-132. Technical Series no. 50.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A. & Real, R. 2008: AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. Global Ecology and Biogeography 17: 145-151.
- Loiselle, B.A., Jørgensen, P.M., Consiglio, T., Jiménez, I., Blake, J. G., Lohmann, L.G. et al. 2008: Predicting species distributions from herbarium collections: Does climate bias in collection sampling influence model outcomes? Journal of Biogeography 35: 105-116.
- Manel, S., Williams, H.C. & Ormerod, S.J. 2001. Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. Journal of Applied Ecology 38: 921-931.
- McPherson, J.M. & Jetz, W. 2007: Effects of species' ecology on the accuracy of distribution models. Ecology 30: 135-151.
- McPherson, J.M., Jetz, W. & Rogers, D.J. 2004. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artefact? Journal of Applied Ecology 41: 811-823.
- Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M. & Stribrny, B. (Hrsg.) 2012: Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Wiss. Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt.
- Nawrath, S. & Buttler, K.P. 2000: *Rhinanthus glacialis* in Hessen. Mit Hinweisen auf brauchbare Bestimmungsmerkmale der in Hessen heimischen *Rhinanthus*-Arten. Botanik und Naturschutz in Hessen 12: 97-111.
- Parmesan, C. 2006: Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 37: 637-669.

- Pearce, J. & Ferrier, S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133: 225-245.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. & Peterson, A.T. 2007: Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102-117.
- Pettorelli, N. 2012: Climate change as a main driver of ecological research. *Journal of Applied Ecology* 49: 542-545.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. 2004: A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, 655-662.
- Phillips, S. et al. 2010: Maxent software for species habitat modeling, <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W. & Kühn, I. 2008: Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters* 4: 564-567.
- Pompe, S., Berger, G., Walther, G.-R., Badeck, F., Hanspach, J., Sattler, S., Klotz, S. & Kühn, I. 2009: Mögliche Konsequenzen des Klimawandels für Pflanzenareale in Deutschland. *Natur und Landschaft* 84 (1): 2-7.
- R Core Team. 2012: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for Statistical Computing.
- Ramirez-Villegas, J. & Jarvis, A. 2010: Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method. *Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1*. CIAT.
- Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G. (Hrsg.) 1992a: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 3: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Rosidae) – Droseraceae bis Fabaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 483 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G. (Hrsg.) 1992b: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 4: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Rosidae) – Haloragaceae bis Apiaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 364 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G. (Hrsg.) 1993a: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 1: Allgemeiner Teil, Spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta) – Lycopodiaceae bis Plumbaginaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 2. Auflage, 624 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G. (Hrsg.) 1993b: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 2.: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Dilleniidae) – Hypericaceae bis Primulaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 2. Auflage, 452 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S., Philippi, G. & Wörtz, A. (Hrsg.) 1996a: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 5: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Asteridae) – Buddlejaceae bis Caprifoliaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 539 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S., Philippi, G. & Wörtz, A. (Hrsg.) 1996b: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 6: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Asteridae) – Valerianaceae bis Asteraceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 580 Seiten.

- Sebald, O., Seybold, S., Phillippi, G. & Wörz, A. (Hrsg.) 1998a: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 7: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklassen Alismatidae, Liliidae Teil 1, Commeliniidae Teil 1) – Butomaceae bis Poaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 595 Seiten.
- Sebald, O., Seybold, S., Phillippi, G. & Wörz, A. (Hrsg.) 1998b: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 8: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklassen Commelinidae Teil 2, Arecidae, Liliidae Teil 2) – Juncaceae bis Orchidaceae. Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart. 544 Seiten.
- Swets, J.A. 1988: Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
- Teuber, D. 2002: Der Fünfmännige Spark (*Spergula pentandra*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 14: 155-168.
- Teuber, D. & Emrich, P. 2004: Der Drüsige Ehrenpreis (*Veronica acinifolia*) in Hessen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 17: 87-99.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakken, M., Beamont, L.J. & Collingham, Y.C. 2004: Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. 2005: Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 8245-8250.
- Trautmann, S., Lötters, S., Ott, J., Buse, J., Filz, K., Rödeder, D., Wagner, N., Jaeschke, A., Schulte, U., Veith, M., Griebeler, E.-M. & Böhning-Gaese, K. 2012: Auswirkungen auf geschützter und schutzwürdige Arten. In Mosbrugger, V. et al. (Hrsg.): *Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland*. S. 260-289. Wiss. Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt.
- Walther, G.-R., Post, E., Cronvey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Gulberg, O. & Bairlein, F. 2002: Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.
- Walther, G.-R. 2010: Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2019-2024.
- Wisz, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, A.T., Graham, C.H., Guisan A. et al. 2008: Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-773.