

## Klimafolgenmonitoring

I-Bn-2 Arealveränderung

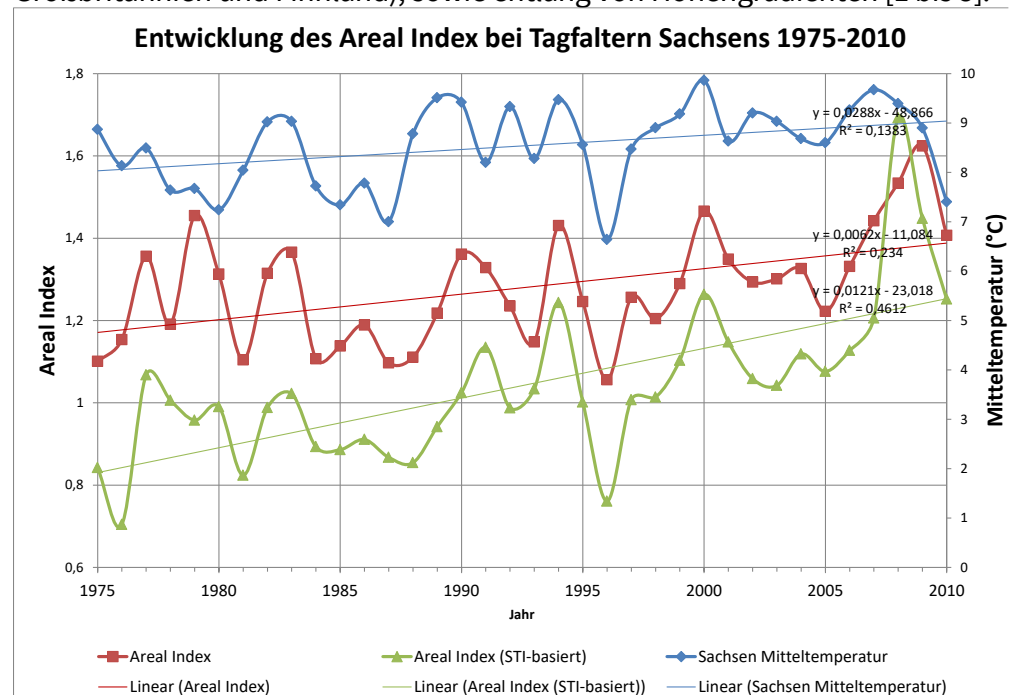
### Basisinformationen

Inhalt

Arealveränderungen klimasensitiver Tagfalter- und Libellenarten

Klimawirkung

Veränderungen von Arealgrenzen durch Klimaveränderung sind bei verschiedenen Organismengruppen (z. B. Vögel, Tagfalter, Libellen, Gefäßpflanzen) bereits gut dokumentiert, insbesondere am Nordrand ihrer Verbreitung (beispielsweise in Großbritannien und Finnland), sowie entlang von Höhengradienten [1 bis 8].



**Abbildung 1: Areal Index (rot) bei Tagfaltern in Sachsen im Vergleich zum Species Temperature Index (grün) und der Jahresmitteltemperatur (blau). Hinweis: Unterschiedliche Skalen. [9]**

Inhaltsbeschreibung

Der Areal Index (AI) ist ein Maß für das Verhältnis der Areale wärmeadaptierter zu kälteadaptierten Arten einer Artengruppe in einer Region. Wenn der AI, wie im Falle der Tagfalter in der Abbildung 1, über die Zeitachse ansteigt, dann haben sich die Areale wärmeadaptierter Arten ausgeweitet oder die Areale kälteadaptierter Arten verkleinert oder beides.

Befund

Die Verteilung der Lebensräume von Tagfaltern und Libellen verändert sich zu Gunsten wärmeadaptierter Arten.

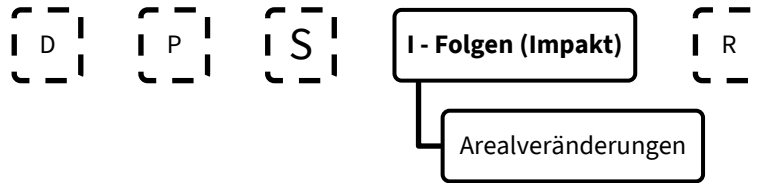
Inhaltlicher Rahmen

Sächsisches Klimafolgenmonitoring  
([Klimaentwicklung in Sachsen - Klima - sachsen.de](http://Klimaentwicklung.in.Sachsen-Klima-sachsen.de))

Weitere Indikatoren im Handlungsfeld

I-Bn-1 Artenvielfalt, I-Bn-3 Phänologie wildwachsender Pflanzen

## Einordnung und Systematik



DPSIR-Schema

Präambel	Es besteht die Möglichkeit von inhaltlichen und methodischen Abweichungen der Indikatoren im sächsischen Klimafolgenmonitoring von denen anderer Monitoringsysteme. Grund dafür sind unter anderem die Indikatorherleitung und die verwendete Datengrundlage. Entsprechende Indikatoren sind dadurch nur bedingt mit denen anderer Monitoringsysteme vergleichbar.
Bund	Monitoring der deutschen Anpassungsstrategie (DAS Monitoring) → kein Indikator Länderinitiative Kernindikatoren → kein Indikator
Andere Bundesländer	I-NA-2 <u>Ausbreitung Wärme liebender Tierarten (LUBW Baden-Württemberg)</u>
Sachsen	Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021 Maßnahmeplan zur Umsetzung des EKP 2021, Nummer 9.03
Thematischer Bezug	<u>Artenlisten und Rote Listen Sachsens</u>

## Materialien und Methoden

Indikator	Arealindex für Tagfalter (ohne Einheit) Arealindex für Libellen (ohne Einheit) Vorkommensnachweis der Feuerlibelle in Sachsen (ja/nein) Potenzielle Veränderung der Klimanische in Prozent (%)
Berechnungsvorschrift	<u>STI-basierte Methode</u> Arten werden mittels ihres STIs ( <i>Species Temperature Index</i> ) hinsichtlich ihrer Klimasensitivität selektiert und gewichtet. Bei dieser Methode werden alle Arten einer Artengruppe in die Auswertung einbezogen und ihre Areale gemäß der Abweichung ihrer STI-Werte vom mittleren <i>Community Temperature Index</i> (CTI) der Artengruppe gewichtet. $AI_{STI} = \frac{\sum_{i=1}^w MTB_i * (STI_i - \overline{CTI})}{\sum_{j=1}^k MTB_j * (\overline{CTI} - STI_j)}$ STI → <i>Species Temperature Index</i> CTI → mittlerer <i>Community Temperature Index</i> in der Referenzperiode MTB → Anzahl besiedelter Messtischblatffelder i → südliche Arten j → nördliche Arten w → Anzahl südlicher Arten k → Anzahl nördlicher Arten  Der Nachweis über das Vorkommen einer Art wird mittels Beobachtungs- und Zählungskampagnen über die Verwendung von Messtischblättern erhoben. <u>Modellierte Entwicklung der Klimanische [9]</u> Die Klimanische spiegelt ein Set aus Temperatur- und Niederschlagsbedingungen

## Klimafolgenmonitoring

wider, unter denen eine Spezies vorkommen kann (siehe Glossar). Modelliert wurden die möglichen klimatischen für die weiter verbreiteten Tagfalterarten Europas, sowie für in Sachsen bodenständige Arten. Betrachtet wurden die Zeitscheiben 2001, 2050 und 2080 unter drei verschiedenen Klimaszenarien mit einer durchschnittlichen Erwärmung Europas bis 2080 um 2,4 K (SEDG) über 3,1 K (BAMBU) bis 4,1 K (GRAS). Aus den Modellen lassen sich (mit Vorbehalten) auch Informationen für Sachsen entnehmen. Hohe Einwanderungswahrscheinlichkeiten haben vor allem Arten, die in näherer Umgebung zu Sachsen, beispielsweise Nachbarländern, vorkommen. Daher wurden vor allem in den Nachbarregionen vorkommende Arten überprüft.

### Einschränkungen in der Interpretierbarkeit

Für die korrekte Anwendung des AI ist eine vergleichbare räumliche Abdeckung in der Erfassungsintensität zwischen den verglichenen Zeitperioden entscheidend. Wenn sich beispielsweise das Verhältnis der Erfassungsintensität von Bergland zu Tiefland zwischen zwei Erfassungsperioden ändert, kommt es zu verfälschten AI-Werten. Bei periodischen Erhebungen (z. B. alle 3-6 Jahre wie beim FFH-Monitoring) können die Daten problemlos zu entsprechenden Perioden zusammengefasst werden, um die Streuung der AI-Werte zu verringern. Allerdings reduziert sich dadurch die zeitliche Auflösung bei der Auswertung entsprechend.

Für belastbare Auswertungen muss auf eine ausreichende Datenmenge geachtet werden (nach vorläufiger Einschätzung sind mindestens etwa 1000 Datensätze pro Zeiteinheit und mindestens etwa 20 zufällig gewählte Arten nötig). Monitoringdaten sind insbesondere bei geringer räumlicher Abdeckung zur Berechnung des AI weniger geeignet. Als neuentwickelter Indikator sind weitere Tests erforderlich, um seine Anwendbarkeit auf weitere reale Datensätze zu überprüfen. Klärungsbedarf besteht auch noch in der korrekten Berechnung von Konfidenzintervallen und Signifikanztests.

Projektionsdaten sind aufgrund schwer abschätzbarer sozioökonomischer Entwicklungen immer mit Fehlern behaftet. Die Ergebnisse müssen unter Berücksichtigung der vorliegenden Standardisierung und Bedingungen betrachtet werden.

Datengrundlage	Artdatenbank MultiBaseCS Rolf Reinhardt (ca. 100.000 Datensätze, ausreichende Daten für 1975-2010) und das TMD (Tagfalter-Monitoring Deutschland) des UFZ (seit 2005). Grundlage für Analysen der Libellen ist die zentrale Artdatenbank des LfULG (etwa 50.000 Datensätze, ausreichende Daten für 1991-2010), Flächenintegral
Zeitliche Auflösung	Jahr (1975-2010)
Datenverfügbarkeit	auf Anfrage bei den entsprechenden Datenhaltern
Ausblick	Fortschreibung der Methodik unter Vorbehalt der Projektfinanzierung

## Auswertung und Darstellung

Befund	Die Verteilung der Lebensräume von Tagfaltern und Libellen verändert sich zu Gunsten wärmeadaptierter Arten.
Ergebnisbeschreibung	<u>Tagfalter</u> Bisherige Analysen haben gezeigt, dass die Tagfalter bereits auf Klimaveränderungen reagieren (Indikator I-Bn-1 Artenvielfalt). Die Auswertung der sächsischen Tagfalterdaten hat zudem eine deutliche Korrelation des AI mit der Jahresmitteltemperatur erwiesen. Der positive Trend des Areal-Index für die Periode 1975-

## Klimafolgenmonitoring

2010 korreliert mit dem positiven Trend des CTI in der gleichen Periode (Abbildung 1). Beim STI-basierten *Areal-Index* beträgt der Anstieg der Regressionsgeraden  $1,2 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}$ . Dessen sehr hohe Korrelation mit dem CTI ( $\text{Kor}=0.93$ ) bestätigt den starken Zusammenhang zwischen klimabedingten Populationsschwankungen und Arealveränderungen. Demnach haben sich die Verbreitungsgebiete von wärmeadaptierten Arten vergrößert, die der kälteadaptierten Arten verkleinert oder beides.

### Libellen

Auch der AI der Libellen weist für den Zeitraum 1990-2010 eine deutliche Steigung von  $0,7 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}$  (STI-basierte Berechnung) auf. Im Gegensatz zu Tagfaltern reagieren die Libellengemeinschaften zeitverzögert. Der Effekt ist auf die Generationenlänge bei Libellen mit ihren in der Regel mehrjährigen Larvenstadien zurückzuführen. Berücksichtigt man die Generationenlänge, ist die Entwicklung auch hier signifikant zu Gunsten wärmeadaptierter Arten (Abbildung 2). Die Ergebnisse der Messtischblattpfelder (Abbildung 3 bis 5) zeigen anhand der wärmeliebenden Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*) die Ausbreitungsentwicklung einer sonst ursprünglich in mediterranen Gebieten vorkommenden Art. Die Art wurde 1997 erstmals in Sachsen beobachtet (Nachweisfeld  $n = 1$ , 1991 bis 2000). In den Jahren 2001 bis 2010 betrug die Anzahl der Nachweisfelder bereits 110 ( $n = 110$ ); 2011 bis 2020 betrug  $n = 370$ . Seit 2021 ist ein weiteres Messtischblatt mit Nachweis hinzugekommen. Innerhalb der letzten 30 Jahre hat die Art ihr Verbreitungsareal in Sachsen beinahe flächendeckend ausgedehnt.

Die Art hat keinen besonderen Anspruch an ihr Habitat. Eier werden auch an kurzlebigen Kleintümpeln abgelegt. Die Larve kann allerdings nur überleben, wenn das Gewässer weder austrocknet noch zufriert. Unter sehr warmen Bedingungen kann diese Art auch eine zweite oder dritte Generation innerhalb eines Jahres ausbilden. [13]

Abbildungen

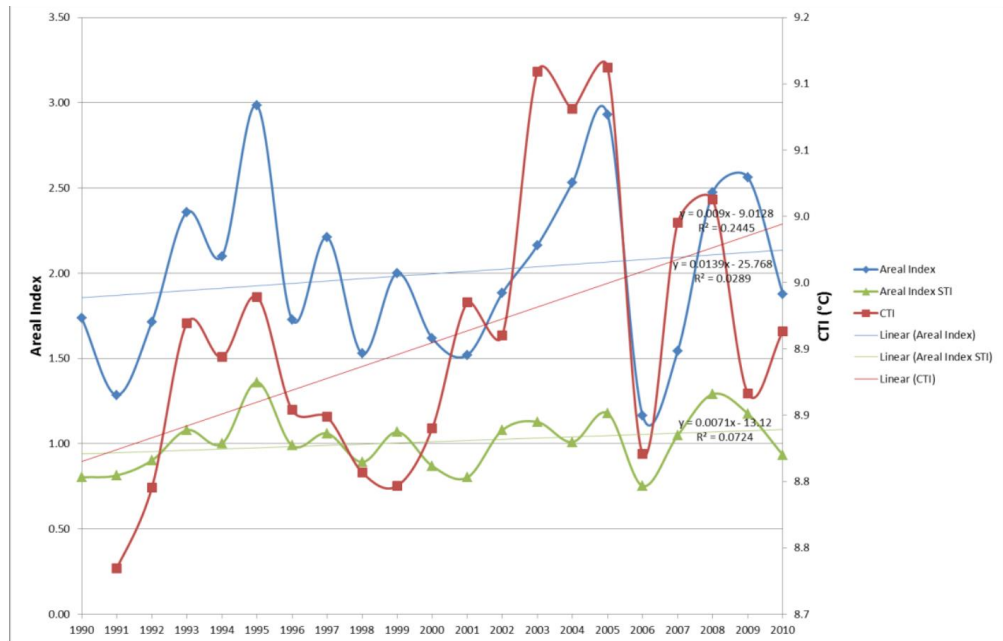


Abbildung 2: Entwicklung des *Areal-Index* bei Libellen Sachsens 1990-2010 im Vergleich zum CTI (Beachte: verschiedene Skalen für CTI und AI). [9]

### 1991 - 2000

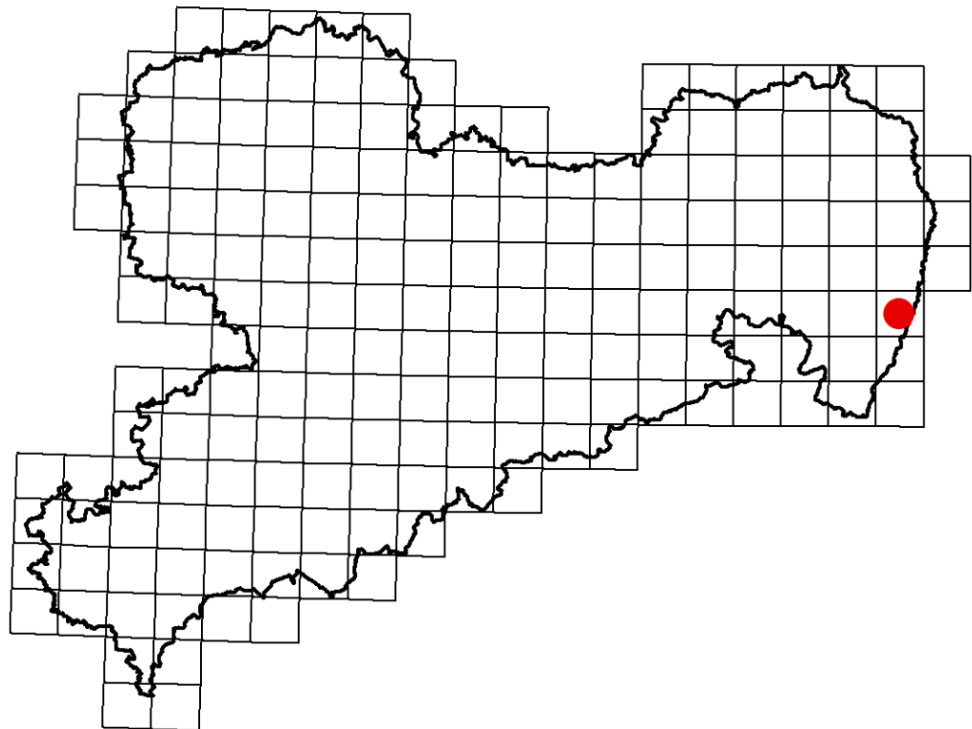


Abbildung 3: Gesichertes Vorkommen der Feuerlibelle in Sachsen im Messzeitraum 1991 bis 2000. (LfULG Datenbank 2024)

## 2001 - 2010

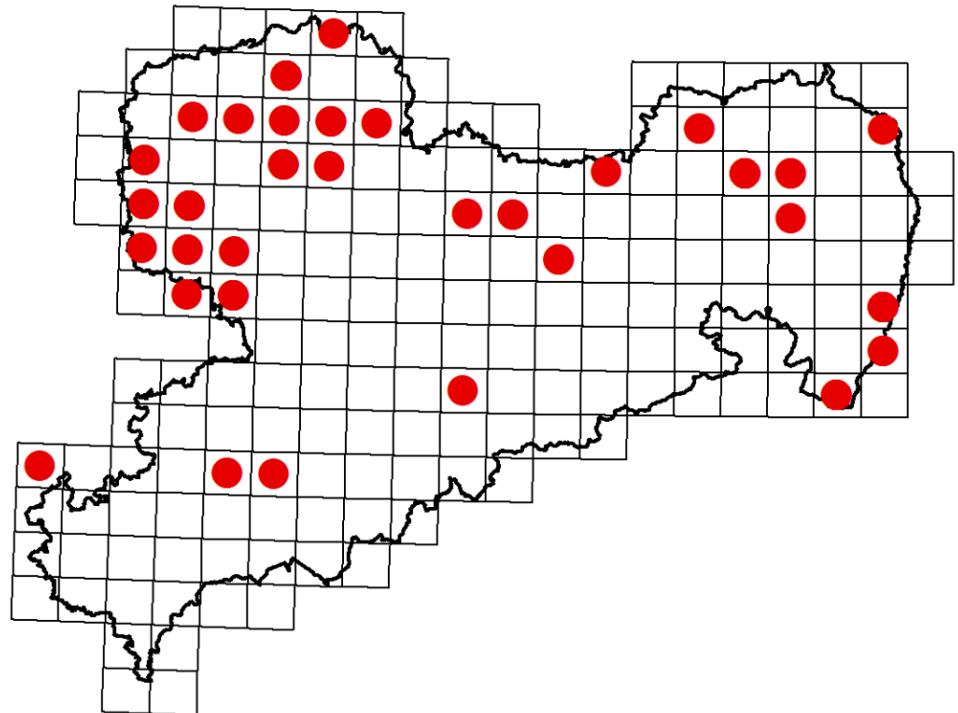


Abbildung 4: Gesichertes Vorkommen der Feuerlibelle in Sachsen im Messzeitraum 2001 bis 2010. (LfULG Datenbank 2024)

## 2011 - 2020

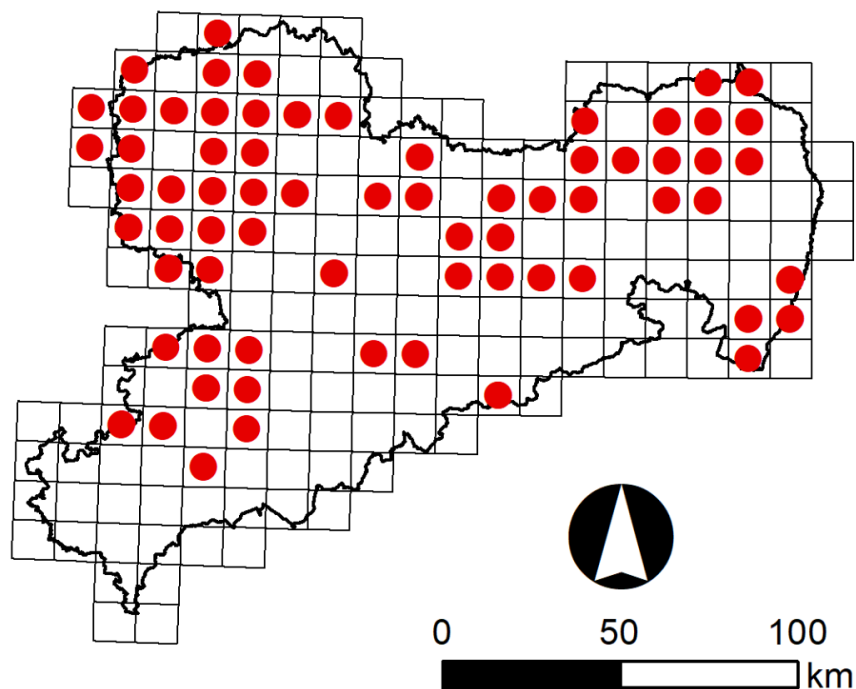


Abbildung 5: Gesichertes Vorkommen der Feuerlibelle in Sachsen im Messzeitraum 2011 bis 2020. (LfULG Datenbank 2024)

### Entwicklung

In der Auswahl zu untersuchender Arten für ein Klimawandel-Monitoring ist zu bedenken, dass durch den Klimawandel mit der Einwanderung von derzeit nicht bodenständigen Arten gerechnet werden muss. Exemplarisch wurde an Tagfaltern eine Analyse vorgenommen [9]. Für 22 in Sachsen noch nie nachgewiesene und einigen in Sachsen historisch bereits nachgewiesene europäische Tagfalterarten ergab sich eine hohe Einwanderungswahrscheinlichkeit in den nächsten 70 Jahren (Stand 2010). Dennoch lässt sich nach derzeitigem Stand nicht eindeutig

beurteilen oder vorhersagen, welche Arten künftig in Sachsen einwandern oder bodenständig werden. Neben Klimabedingungen spielen auch andere Standortfaktoren eine Rolle. Diese unterliegen ihrerseits auch wieder klimatischen oder anthropogenen Änderungen. Eine tatsächliche Besiedlung der passenden Klimanische ist außerdem stark abhängig von der Ausbreitungsfähigkeit der Arten.[9]

Andersherum ergab sich für einige in Sachsen bodenständige Arte eine starke Reduzierung der vorhandenen Klimanische bis hin zum möglichen Verschwinden der Art. Von den insgesamt 45 gelisteten Arten in der durchgeführten Studie gelten 9 Arten als Profiteure des Klimawandels. Für die anderen 36 gelisteten Arten wird eine Verkleinerung der Klimanische erwartet. [9, Tabelle 50]

**Tabelle 1: Auswahl an potenziellen Profiteuren des Klimawandels in Sachsen unter den Tagfaltern, deren Klimanische sich bis 2080 voraussichtlich ausdehnt. [9]**

Art	*RL-Kategorie Sachsen	Veränderung in Sachsen	Klimawandeleinfluss [12]
Großer Feuerfalter	*	+82%	Stark positiv
Segelfalter	2	+52%	Leicht positiv
Wander-Gelbling	*	+24%	Leicht positiv
Schachbrettfalter	*	+20%	Leicht positiv
Östlicher Quendelbläuling	1	+100%	Keine Angabe

**Tabelle 2: Auswahl an potenziellen Verlierern des Klimawandels unter den Tagfaltern, deren Klimanische bis 2080 voraussichtlich kleiner wird, bis hin zum vollständigen Verschwinden der Art aus Sachsen. [9]**

Art	*RL-Kategorie Sachsen	Veränderung in Sachsen	Klimawandeleinfluss [12]
Hochmoor-Perlmutterfalter	1	-100%	Leicht negativ
Großer Schillerfalter	2	-77%	Leicht negativ
Trauermantel	*	-62%	Leicht negativ
Tagpfauenauge	*	-31%	indifferent

\* Rote Liste-Kategorien in Sachsen nach REINHARDT (2007)  
 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet  
 V = Vorwarnstufe, G = Gefährdung ist anzunehmen, D = Datenlage defizitär, R = extrem selten, \* = keine Gefährdung

Das betrifft insbesondere Tagfalterarten in Moorhabitaten z. B. den Hochmoor-Perlmutterfalter (*Boloria aquilonaris* (-100%)), Hochmoor-Bläuling (*Plebejus optilete* (-100%)), Hochmoor-Gelbling (*Colias palaeno* (-100%)). Die genannten Arten sind schon heute in Sachsen vom Aussterben bedroht (RL 1). Die Auswirkungen des Klimawandels sind für diese Arten wahrscheinlich der letzte entscheidende Faktor, der zum Verschwinden beiträgt (siehe Spalte 4 in Tabelle 1 und 2).

## Literaturverzeichnis

1. BROMMER JE, (2004) THE RANGE MARGINS OF NORTHERN BIRDS SHIFT POLEWARDS. ANN ZOOLOG FENNICI 41:391-397
2. GRABHERR G, GOTTFRIED M, PAULI H, (1994) CLIMATE EFFECTS ON MOUNTAIN PLANTS. NATURE 369 (6480):448-448

## Klimafolgenmonitoring

3. HILL JK, THOMAS CD, FOX R, TELFER MG, WILLIS SG, ASHER J, HUNTLEY B, (2002) RESPONSES OF BUTTERFLIES TO TWENTIETH CENTURY CLIMATE WARMING: IMPLICATIONS FOR FUTURE RANGES. PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON SERIES B-BIOLOGICAL SCIENCES 269 (1505):2163-2171
4. KONVICKA M, MARADOVA M, BENES J, FRIC Z, KEPKA P, (2003) UPHILL SHIFTS IN DISTRIBUTION OF BUTTERFLIES IN THE CZECH REPUBLIC: EFFECTS OF CHANGING CLIMATE DETECTED ON A REGIONAL SCALE. GLOB ECOL BIOGEOGR 12 (5):403-410. DOI:10.1046/J.1466-822X.2003.00053.X
5. PARMESAN C, RYRHOLM N, STEFANESCU C, HILL JK, THOMAS CD, DESCIMON H, HUNTLEY B, KAILA L, KULLBERG J, TAMMARU T, TENNENT WJ, THOMAS JA, WARREN M, (1999) POLEWARD SHIFTS IN GEO-GRAPHICAL RANGES OF BUTTERFLY SPECIES ASSOCIATED WITH REGIONAL WARMING. NATURE 399 (6736):579-583
6. THOMAS CD, FRANCO AMA, HILL JK, (2006) RANGE RETRACTIONS AND EXTINCTION IN THE FACE OF CLIMATE WARMING. TRENDS ECOL EVOL 21 (8):415-416. DOI:DOI 10.1016/J.TREE.2006.05.012
7. THOMAS CD, LENNON JJ, (1999) BIRDS EXTEND THEIR RANGES NORTHWARDS. NATURE 399 (6733):213
8. WARREN MS, HILL JK, THOMAS JA, ASHER J, FOX R, HUNTLEY B, ROY DB, TELFER MG, JEFFCOATE F, HARDING P, JEFFCOATE G, WILLIS FG, GREATORREX-DAVIES JN, MOSS D, THOMAS CD, (2001) RAPID RESPONSES OF BRITISH BUTTERFLIES TO OPPOSING FORCES OF CLIMATE AND HABITAT CHANGE. NATURE 414:65-69
9. WIEMERS M, MUSCHE M, STRIESE M, KÜHN I, WINTER M & DENNER M, (2013) NATURSCHUTZFACHLICHES MONITORING KLIMAWANDEL UND BIODIVERSITÄT, TEIL 2: WEITERENTWICKLUNG DES MONITORINGKONZEPTES UND AUSWERTUNG AUSGEWÄHLTER VORHANDENER DATEN. SCHRIFTENREIHE SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE 25/2013.
10. WINTER M, MUSCHE M, STRIESE M, KÜHN M, (2013), NATURSCHUTZFACHLICHES MONITORING KLIMAWANDEL UND BIODIVERSITÄT, TEIL 1 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE BIODIVERSITÄT, ZIELE UND GRUNDLAGEN DES MONITORINGS. SCHRIFTENREIHE SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE, 24/2013
11. BONETTI MF, WIENS JJ, (2014), EVOLUTION OF CLIMATIC NICHE SPECIALIZATION: A PHYLOGENETIC ANALYSIS IN AMPHIBIANS. PROC BIOL SCI, NOV 22; 281(1795):20133229, DOI: 10.1098/RSPB.2013.3229, PMID: 25274369; PMCID: PMC4213603
12. BEHRENS M, FARTMANN T, HÖLZEL N, (2009): AUSWIRKUNGEN VON KLIMAÄNDERUNGEN AUF DIE BIOLOGISCHE VIELFALT: PILOTSTUDIE ZU DEN VORAUSSICHTLICHEN AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF AUSGEWÄHLTE TIER- UND PFLANZENARTEN IN NORDRHEIN-WESTFALEN, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MUNLV NRW), (LINK): (ABFRAGE 21.01.2025).
13. BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND), STECKBRIEF: FEUERLIBELLE (LINK), (LETZTER ZUGRIFF 21.01.2025)

## Glossar

### Klimanische

“The climatic niche reflects the set of temperature and precipitation conditions where a species can occur” [11]

### Frei übersetzt:

Die Klimanische spiegelt ein Set aus Temperatur- und Niederschlagsbedingungen wieder unter denen eine Spezies vorkommen kann.

SEDG = „Sustainable Europe Development Goal” - Szenario, basierend auf einer nachhaltigen Wirtschaftsweise



## Klimafolgenmonitoring

BAMBU = „Business As Might Be Usual“ - Szenario mit gemischten Elementen aus Wachstum und Nachhaltigkeit

GRAS = „Growth Applied Strategy“ - Szenario mit wachstumsbasierter Strategie

Autor: Katrin Hermasch, Florian Kerl; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie;  
Abteilung 5; Referat 55; Telefon: 0351 2612-5502; E-Mail: FachzentrumKlima.lfulg@smekul.sachsen.de; Redaktionsschluss:  
08.12.2024: [www.lfulg.sachsen.de](http://www.lfulg.sachsen.de)