

I-Bn-1 Artenzusammensetzung

Basisinformationen

Inhalt	Änderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung
Klimawirkung	Im Vergleich zu alternativen Methoden hat sich der Community Temperature Index (CTI) als die am besten geeignete Methode erwiesen [1]. Im Vergleich zu anderen Methoden zeigte der CTI die größte Sensitivität für klimatisch bedingte Populationsveränderungen und eignet sich besonders für wechselwarme Organismen. Diese sind sehr klimasensitiv und reagieren auch aufgrund ihrer vergleichsweise kurzen Generationszyklen schneller auf Klimaveränderungen als die meisten Wirbeltiere.

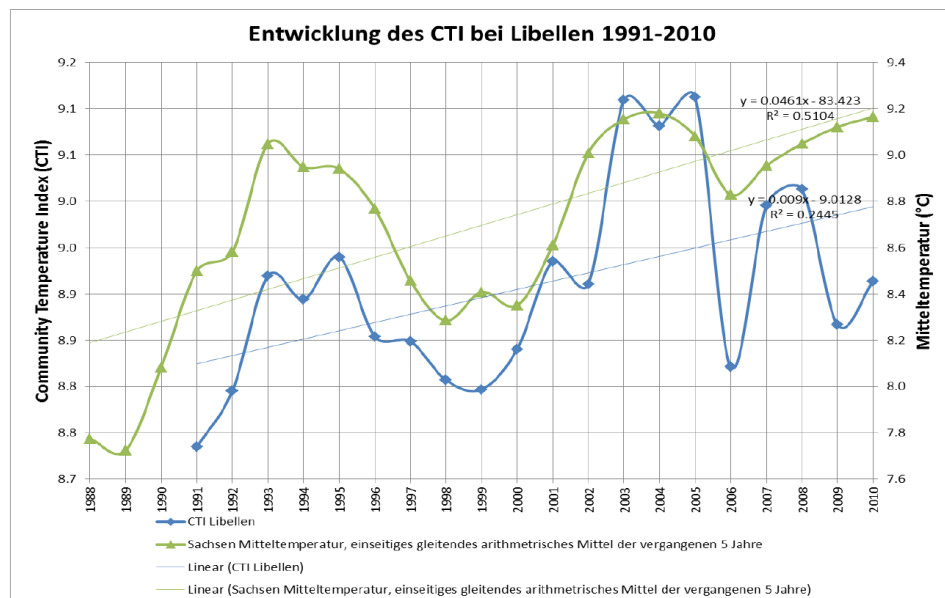
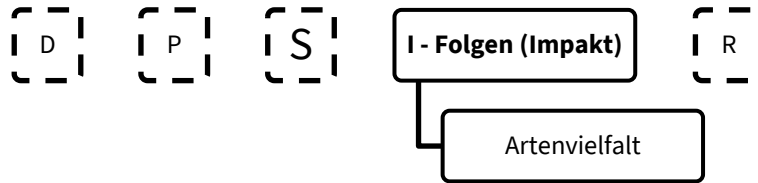


Abbildung 1: Entwicklung des CTI bei Libellen von 1991 bis 2010 (blau) im Zusammenspiel mit der 5-Jahres gleitenden Mitteltemperatur in Sachsen. Der Anstieg des CTI liegt bei $0,9 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$ pro Jahr. [5]

Inhaltsbeschreibung	Als Indikator für die mittel- und langfristige Auswirkung der Temperaturentwicklung auf Tier- oder Pflanzengemeinschaften wird die Veränderung ihres <i>Community Temperature Index</i> (CTI) betrachtet. Dieser zeigt Verschiebungen in den Populationsgrößen von Arten in einer Artengemeinschaft als Antwort auf Klimaveränderungen an. Eine langfristige Zunahme des Indikatorwertes bedeutet einen wachsenden Einfluss einer durch den Klimawandel bedingten Erwärmung auf die betrachtete Artengemeinschaft. Das heißt: wenn wärmeliebende Arten relativ gesehen häufiger werden, werden kälteliebende Arten relativ gesehen seltener.
Befund	Sowohl bei Tagfaltern als auch bei Libellen Sachsens zeigt der CTI eine deutliche Steigung.
Inhaltlicher Rahmen	Sächsisches Klimafolgenmonitoring (Klimaentwicklung in Sachsen - Klima - sachsen.de)
Weitere Indikatoren im Handlungsfeld	I-Bn-2 Arealveränderung, I-Bn-3 Phänologische Uhr

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	BD-I-2 + 3 Temperaturindex der Vogel- und Tagfalterartengemeinschaft (<u>Monitoring der deutschen Anpassungsstrategie (DAS Monitoring)</u>) Länderinitiative Kernindikatoren → kein Indikator
Andere Bundesländer	I-NA-3+4 Temperaturindex der Vogel- und Libellenartengemeinschaft (<u>Zweiter Monitoringbericht Thüringen LUBN</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 Community Temperature Index in Grad Celsius (°C)

Berechnungsvorschrift Gewichtung anhand von Datensatzzahlen

$$CTI_{DS} = \sum_{j=1}^n \frac{STI_j * DS_j}{\sum_{i=1}^n DS_i}$$

Hierbei sind i und j die Arten mit n als Anzahl der Arten, DS die Anzahl der Datensätze und STI die Species Temperature Indices.

Die Veränderung des CTI entlang einer Zeitachse kann durch Berechnung generalisierter linearer Modelle (GLMs) erfolgen, wobei lineare Regressionsmodelle für einfache Trendberechnungen ausreichend sind. Die Gewichtung nach Datensätzen erschien sinnvoller, weil für fast die Hälfte der Datensätze (47.407 von 111.408 = 43 %) keine Individuenzahlen vorliegen, insbesondere für die älteren Jahrgänge.

Einschränkungen in der Interpretierbarkeit

Verfälschungen der Ergebnisse sind möglich bei systematischer Auswahl (positiv wie negativ) temperatursensibler Arten sowie bei starken Migrationsereignissen, so dass unter Umständen migrierende Arten, deren Populationsentwicklung primär von Klimabedingungen in ihren Herkunftsgebieten bestimmt wird, aus der Analyse entfernt werden müssen. Nachteil der Methode ist die Notwendigkeit der Berechnung von STI-Werten für alle analysierten Arten, wofür zumindest europa-weite Verbreitungskarten vorliegen müssen. STI-Werte existieren bislang nur für Vögel, Tagfalter und Libellen, sind aber grundsätzlich für jede Art oder Artengruppe mit entsprechender Kenntnis ihrer Verbreitung berechenbar. Beachtet werden muss auch, dass die Korrelationen des CTI mit Temperaturwerten von der

Generationslänge der Arten abhängig sind. Während Populationen von Arten mit mehreren Generationen pro Jahr bereits im selben Jahr auf Temperaturveränderungen reagieren (beispielsweise viele Tagfalter), sind bei Arten mit mehrjährigem Entwicklungszyklus Veränderungen in der Populationsdichte der Adulten erst mit mehrjähriger Verzögerung erkennbar (beispielsweise viele Libellen). In diesen Fällen können beispielsweise einseitige gleitende Mittelwerte der Jahresmitteltemperaturen über eine entsprechende Zeitdauer zu besseren Korrelationen führen.

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). Da die Ergebnisse hauptsächlich durch häufige Arten bestimmt werden, sind auch Daten aus nicht flächendeckenden Monitoringprogrammen für die Auswertung geeignet. Allerdings kann der CTI auch durch großflächige Landschaftsveränderungen beeinflusst werden. So wurde zum Beispiel in den Mittelmeerländern durch großflächige regionale Aufgabe der Landnutzung und nachfolgende Wiederbewaldung ein Absinken des CTI bei Waldvögeln beobachtet. [3]

Für alle Tagfalter Sachsens liegen die *Species Temperature Indices* (STI) auf der Basis ihrer europäischen Verbreitung nach vor [5]. Optimal wären zwar STI-Werte auf der Grundlage der Gesamtverbreitung der Arten, aber weil Sachsen in Mitteleuropa liegt und kaum eine der hier vorkommenden Arten ein größeres Areal in außereuropäischen Gebieten mit stark abweichenden Jahresmitteltemperaturen besitzt (wie beispielsweise afrotropische Arten), lässt sich dieser Fehler vernachlässigen.

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 (ca. 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	Sowohl bei Tagfaltern als auch bei Libellen Sachsens zeigt der CTI eine deutliche Steigung.
Ergebnisbeschreibung	<u>Tagfalter</u> Es ergab sich eine signifikante Korrelation (Gewichtung nach Datensätzen $Kor=0.55$, $p<0.01^{**}$) mit den Mittelwerten der Jahresmitteltemperaturen für das Land Sachsen. Dies bedeutet, dass in wärmeren Jahren die Populationsgrößen wärmeliebender Arten im Vergleich zu kälteadaptierten Arten ansteigen (Abbildung 2). Noch stärker korrelierte der CTI ($Kor=0.63$, $p<0.001$) mit dem gleitenden Mittel der Jahrestemperaturen des aktuellen und vergangenen Jahres. Das erklärt sich daraus, dass zahlreiche Tagfalterarten nur eine Generation im Jahr haben, deren Populationsstärke (wie auch diejenige der ersten Generation multivoltiner Arten) stärker von den Temperaturen des Vorjahres abhängt als von denen des aktuellen Jahres. Im europäischen Vergleich war der mittlere CTI für Sachsen in Abhängigkeit zur Temperaturentwicklung im sächsischen Mittel jedoch deutlich

niedriger. [5]

Im selben Zeitraum betrug der CTI-Anstieg in Sachsen $5,8 \times 10^{-3}$ bei einem Temperaturanstieg von $3,5 \times 10^{-2}$. Betrachtet man den Einfluss einzelner Arten auf den allgemeinen Trend zeigt sich, dass der Einfluss einzelner Arten auf die Trendbildung ungleichmäßig verteilt ist. Von insgesamt 62 untersuchten Arten besitzen folgende fünf Arten einen besonders starken Einfluss auf den Anstieg: Kleiner Fuchs (*Aglaia urticae*), Großes Ochsenauge (*Maniola jurtina*), Hochmoor-Perlmutterfalter (*Boloria aquilonaris*), Kleiner Kohlweißling (*Pieris rapae*) und Wandergelbling oder Postillon (*Colias crocea*) (Abbildung 2 und 3). Zwei dieser Arten (*A. urticae* und *B. aquilonaris*) haben im Zeitraum 1975-2010 zugenommen, die drei anderen abgenommen. Es gibt auch Beispiele gegenläufiger Trends einzelner wärmeadaptierter Arten. Der Mauerfuchs (*Lasiommata megera*), ist eine wärmeadaptierte Art, deren Population dennoch stark abgenommen hat.

Untersucht wurden unter anderem auch Artengilden von Tagfaltern gruppiert nach Habitattyp (Abbildung 4). Tagfalterarten der Wälder und Gebüsche sowie Arten warmer trockener Offenlandstandorte zeigen quasi keinen Trend. Ein positiver Trend ist bei den klimatisch gemäßigt geprägten Offenlandarten (mesophil) zu verzeichnen (CTI-Anstieg: $7,8 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$ pro Jahr). Der CTI-Anstieg der gemäßigten Offenlandarten liegt über dem Durchschnitt aller sächsischen Arten ($4,6 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$) und nahe dem gemäß Temperaturentwicklung zu erwartenden Anstieg ($9,5 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$ pro Jahr [5]). Einen noch stärkeren Anstieg des CTI unter den Offenlandarten besitzt die Artengilde der nassstandortliebenden (hygrophilen) Arten ($2,35 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$). Weiterhin zeigt sich, dass Tagfalterarten der Wälder und Gebüsche einen wesentlich geringeren Anstieg des CTI zu verzeichnen haben als Offenlandarten ($1,0 \times 10^{-3}$ im Vergleich zu $7,2 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$ pro Jahr). Daraus lässt sich entnehmen, dass innerhalb hygrophiler Tagfaltergilden eine stärkere relative Zunahme wärmeadaptierter Arten stattfand als in Tagfaltergilden anderer Habitattypen. [5]

Libellen

Die Entwicklung des CTI der Libellen (Abbildung 1) zeigt, dass die wärmeadaptierten Arten die sächsischen Libellengemeinschaften zunehmend dominieren. Der Kurvenverlauf zeigt allerdings auch starke Schwankungen, die anders als bei den Tagfaltern nicht mit den Jahresmitteltemperaturen des Flugjahres korrelieren. Zurückzuführen ist dies auf die größtenteils mehrjährige Entwicklungsdauer der Libellen mit einer Generationslänge von bis zu fünf Jahren. [5]

Berücksichtigt man die mehrjährige Entwicklungsdauer vieler Libellenarten und wendet ein fünfjähriges gleitendes Mittel der Jahresmitteltemperatur mit Variation des Referenzjahres an, ergibt sich die beste und hochsignifikante Korrelation ($0,73$, $p=0,0006$) mit dem Verlauf des CTI (Ergebnisse nicht gezeigt).

Insgesamt stützt das Ergebnis die Aussagen der Literatur [5], wonach seit 1990 vermehrt mediterrane Libellenarten in Sachsen vorkommen. Zu den neu aufgetretenen Arten gehören unter anderem: die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*), die Schabrackenlibelle (*Anax ephippiger*), der Südliche Blaupfeil (*Orthetrum brunneum*), die Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*) und die Frühe Heidelibelle (*Sympetrum fonscolombii*). Kälteadaptierte Arten wie die Arktische Smaragdlibelle (*Somatochlora arctica*), die Mond-Azurjungfer (*Coenagrion lunulatum*), die Alpen-Smaragdlibelle (*Somatochlora alpestris*), die Hochmoor-Mosaikjungfer (*Aeshna subarctica*) oder die Zwerglibelle (*Nehalennia speciosa*) sind dagegen im Rückgang begriffen [5].

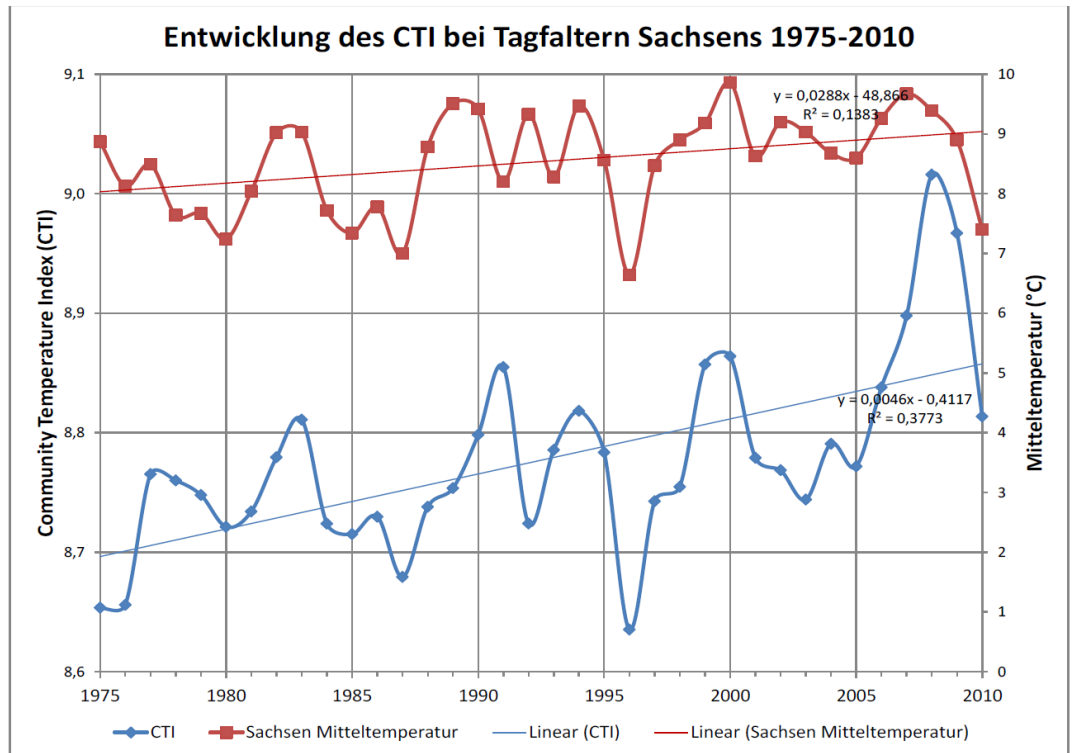


Abbildung 2: Der Korrelationskoeffizient des CTI mit der Jahresmitteltemperatur beträgt 0,59* ($p=0,0002$). Der ungewöhnlich hohe Peak des CTI im Jahre 2008 ist durch die starke Einwanderung des Wandergelblings (*Colias crocea*) bedingt, einer in Sachsen nicht bodenständigen Wanderfalterart. Bei Entfernung der Daten für diese Art aus der Analyse verschwindet dieser Peak. [5]**

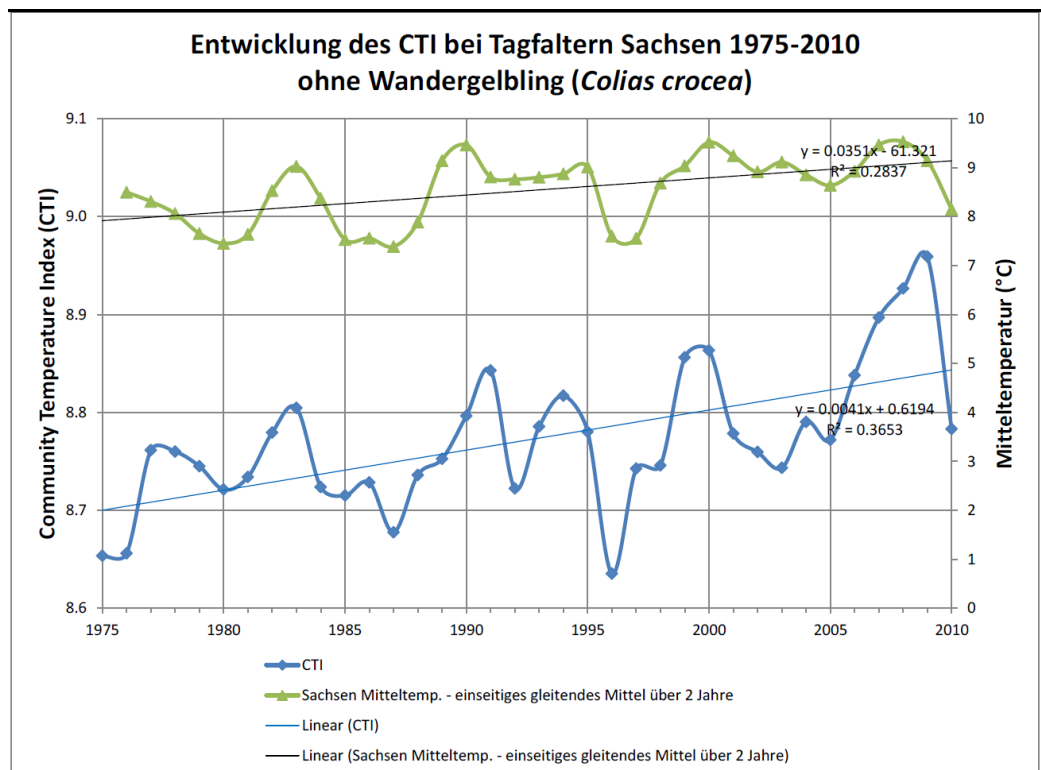


Abbildung 3: In dieser Grafik wird statt der Jahresmitteltemperatur das gleitende zweijährige Mittel (für das aktuelle und das vorangehende Jahr) angezeigt, weil die Reproduktion und Larvalentwicklung vieler Tagfalter bereits im Vorjahr erfolgt. Die Korrelation mit dem CTI steigt dann auf 0,67* ($p=0,00001$). [5]**

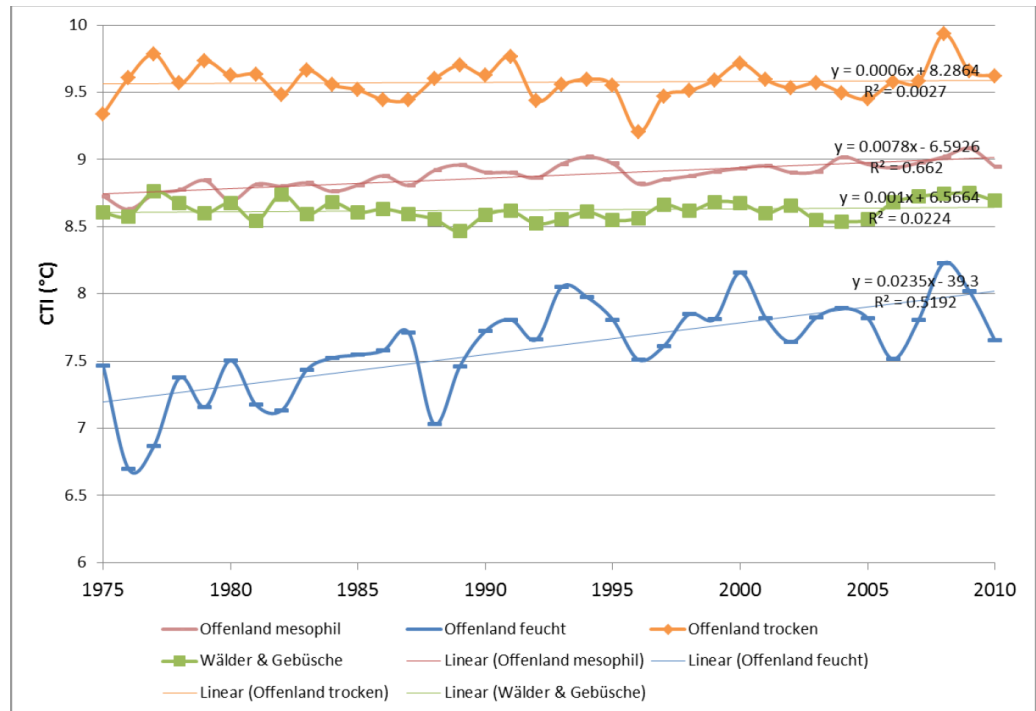


Abbildung 4: Entwicklung der CTI-Werte von Tagfaltergilden unterschiedlicher Habitattypen in Sachsen 1975-2010. [5]

Entwicklung

Wie sich der CTI und damit die Verteilung wärme- und kälteadaptierter Tagfalter und Libellenarten künftig in Sachsen entwickelt ist schwer vorherzusagen. Der CTI als solcher ist ein temperaturabhängiger Index und wird mit steigenden Temperaturen vermutlich dem positiven Trend der Temperaturentwicklung weiter folgen. Dagegen ist die Einwanderung und Ansiedlung wärmeadaptierter Arten beispielsweise auch an Faktoren wie Habitatverfügbarkeit, räumliche Nähe neuer Habitate zum Standort, Wanderdistanz und Generationswechsel gebunden. Einblicke in eine mögliche Entwicklung finden sich im Indikator I-Bn-2 Arealveränderungen, der sich mit der räumlichen Verteilung klimasensitiver Tagfalter- und Libellenarten in Sachsen beschäftigt.

Literaturverzeichnis

1. VAN SWAAY C, VAN STRIEN AJ, JULLIARD R, SCHWEIGER O, BRERETON T, HELIÖLÄ J, KUUSSAARI M, ROY DB, STEFANESCU C, WARREN MS & SETTELE J, (2008) DEVELOPING A METHODOLOGY FOR A EUROPEAN BUTTERFLY CLIMATE CHANGE INDICATOR. DE VLINDERSTICHTING, WAGENINGEN.
2. DEVICTOR V, JULLIARD R, COUVET D & JIGUET F, (2008) BIRDS ARE TRACKING CLIMATE WARMING, BUT NOT FAST ENOUGH. PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B: BIOLOGICAL SCIENCES 275: 2743-2748.
3. CLAVERO M, VILLERO D & BROTON L, (2011) CLIMATE CHANGE OR LAND USE DYNAMICS: DO WE KNOW WHAT CLIMATE CHANGE INDICATORS INDICATE? PLoS ONE 6 (4)
4. VAN SWAAY C, HARPKE A, VAN STRIEN A, FONTAINE B, STEFANESCU C, ROY DB, MAES D, KÜHN E, ÓUNAP E, REGAN E, ŠVITRA G, HELIÖLÄ J, SETTELE J, MUSCHE M, WARREN M, PLATTNER M, KUUSSAARI M, CORNISH N, SCHWEIGER O, FELDMANN R, JULLIARD R, VEROVNIK R, ROTH T, BRERETON T & DEVICTOR V, (2010) THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON BUTTERFLY COMMUNITIES 1990-2009, (ED. BY BCD VLINDERSTICHTING), WAGENINGEN.
5. 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.

6. 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

Glossar

Multivoltin

[auch] polyvoltin [von *poly-, latein. volvere = (einen Zeitraum) durchlaufen], plurivoltin, Bezeichnung für Tiere, besonders Insekten, die viele Generationen im Jahr produzieren; bivoltin, monovoltin.

polyvoltin - Lexikon der Biologie, Letzter Zugriff: 25.02.2025

Autor: Florian Kerl, Katrin Hermasch; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie;
Abteilung 5; Referat 55; E-Mail: FachzentrumKlima@lfulg.sachsen.de; Redaktionsschluss: 08.12.2024: www.lfulg.sachsen.de