

tungsgebiet in Europa und Nordwestafrika wurde hier auf 23 × 36 mm großen Kärtchen flächenhaft dargestellt. Diese Darstellungsform ist auch heute noch gängige Praxis in europäischen Bestimmungsbüchern (LAFRANCHIS 2004, TOLMAN & LEWINGTON 2012, LERAUT 2016). Etwa zur gleichen Zeit hielten in der deutschen regionalen entomofaunistischen Literatur Punkt- und Rasterkarten Einzug. Durch unterschiedliche Symbole konnten dabei verschiedene Zeiträume des Auftretens kenntlich gemacht werden. Anfangs wurden hierbei die Fundpunkte noch per Hand in die Karten mit UTM-Raster eingezeichnet wie z. B. beim ersten saarländischen Tagfalteratlas von SCHMIDT-KOEHL (1971), der im Rahmen des von John Heath und Jean Leclercq initiierten Projektes „Erfassung der Europäischen Wirbellosen“ entstand oder bei HARKORT (1976) für Westfalen.

Unter der Leitung von Paul Müller stand an der Universität des Saarlandes die „Erfassung der westpaläarktischen Tiergruppen“ und SCHREIBER (1976) brachte im Rahmen dieses Projektes die ersten computergestützten Karten im UTM-Raster für die Familien Papilionidae, Pieridae und Nymphalidae (ohne Satyrinae) der damaligen BRD (einschließlich West-Berlins) heraus. Dieses Projekt erfasste aber nur ein knappes Drittel der deutschen Tagfalterarten und wurde nicht fortgeführt. Kurze Zeit später entstanden computergestützte Kartenwerke auch für die Tagfalter Niedersachsens (ALTMÜLLER et al. 1981) und die Tagfalter und Widderchen in Hamburg (STÜBINGER 1983).

In den 1980er-Jahren erschien auch ein erster Tagfalteratlas für die DDR (REINHARDT & KAMES 1982, REINHARDT 1983), der mehrfach ergänzt und aktualisiert wurde (REINHARDT 1985, 1989, REINHARDT & THUST 1993) und nach der deutschen Wiedervereinigung die Basis für die Bearbeitung der ostdeutschen Bundesländer bildete. Mangels öffentlich verfügbarer Rastersysteme wurden die Ergebnisse auf handgefertigten Punktkarten dargestellt.

Richtungweisend war dann die direkt nach der Wende publizierte vorbildliche Bearbeitung der Tagfalter Baden-Württembergs (EBERT & RENNWALD 1991a, 1991b), die zu einer Gesamtfauuna der Großschmetterlinge dieses Landes führte (mit den Widderchen in Band 3: EBERT 1994) und den Anstoß für Tagfalterfaunen weiterer Länder und Regionen Deutschlands bildete: die Rhön (KUDRNA 1993, 1998), Schleswig-Holstein (KOLLIGS 2003),

Thüringen (THUST et al. 2006), Sachsen (REINHARDT et al. 2007), die Pfalz (SCHULTE et al. 2007a, 2007b), Ostwestfalen-Lippe (PÄHLER & DUDLER 2010), Bayern (BRÄU et al. 2013), Brandenburg (GELBRECHT et al. 2016) und Sachsen-Anhalt (SCHMIDT & SCHÖNBORN 2017). Alle diese Kartenwerke verwendeten anstelle des UTM-Rasters jenes der topografischen Karte im Maßstab 1:25.000 (TK25, früher Messtischblatt genannt), meist mit einer Genauigkeit bis zu Quadranten, was einer Auflösung von etwa 6 × 6 km entspricht.

Online-Verbreitungskarten existieren inzwischen zudem für die Bundesländer Baden-Württemberg (www.schmetterlinge-bw.de), Brandenburg und Berlin (www.schmetterlinge-bb.de), Nordrhein-Westfalen (<http://nrw.schmetterlinge-bw.de>), Rheinland-Pfalz (<http://rlp.schmetterlinge-bw.de>), Hessen (http://www.andreaslange.org/Arbeitsatlas_TuW_H_v1_2.pdf), das Saarland (<http://www.delattinia.de/Verbreitungskarten/Schmetterlinge>) und Sachsen (<https://www.tagfalter-sachsen.de>, <https://www.insekten-sachsen.de>), sodass inzwischen das gesamte Bundesgebiet kartografisch erfasst ist (Abb. 2), was eine wichtige Voraussetzung für die Datengrundlage des Deutschlandatlas darstellt (REINHARDT et al. 2017).

Im Rahmen des Projektes MEB (Mapping European Butterflies) erschien zudem 2002 ein erster Atlas der Tagfalter Europas (KUDRNA 2002), der im Jahr 2011 in eine Neuauflage mündete (KUDRNA et al. 2011) und derzeit als Online-Atlas im Rahmen des Projektes LepiDiv (<http://www.ufz.de/lepidiv/>) weitergeführt wird.

Ökologie, Gefährdung und Schutz von Tagfaltern und Widderchen

Beim Gedanken an Tagfalter steht meist das Falterstadium im Vordergrund, dieses ist auffällig, bunt und attraktiv. Aus ökologischer Sicht sind jedoch alle vier Stadien – Falter, Ei, Raupe, Puppe – von Bedeutung. Jedes Stadium benötigt bestimmte Lebensraumbedingungen und hat Beziehungen zu seiner Umwelt. Da Tagfalter und Widderchen zu den holometabolen Insekten zählen, sind das hauptsächlich fraßaktive Stadium, die Raupe, und das reproduktive Stadium, der Falter, deutlich in ihren Ansprüchen getrennt. Sie besiedeln mehr oder weniger unterschiedliche Lebensräume, sodass von WEIDEMANN (1995) für beson-

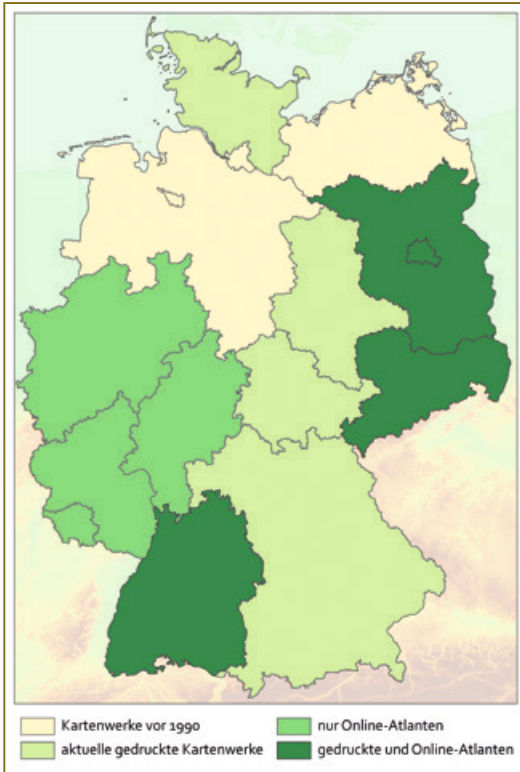


Abb. 2: Verfügbarkeit von Kartenwerken in den Bundesländern (Stand März 2019).

ders auffällige Trennungen der Begriff „Verschiedenbiotop-Bewohner“ geprägt wurde. Wenn man den Lebensraum und die Ökologie einer Art verstehen will, muss man immer diese verschiedenen Teilhabitate berücksichtigen.

Im Falterstadium ist der Blütenbesuch, neben der Eiablage, die auffälligste Ressourcennutzung. Die detaillierte Erfassung der Nektarquellen von Tagfaltern nach Pflanzenarten und Blütentypen (z. B. Blumentypen nach KUGLER 1970) war vor allem in den 1990er-Jahren sehr verbreitet. Aus dieser Zeit liegen zahlreiche beschreibende Arbeiten vor (LEHMANN 1992; PEUSER 1988; WEBER 1992; STEFFNY 1982; DOLEK 1994). Es wurde jedoch schnell deutlich, dass es zwar bestimmte Vorlieben für Blumentypen und Blütenfarben gibt, viele Arten beim Blütenbesuch aber nur wenig spezialisiert sind. Die damals meist interessierenden Ursachen für die Veränderungen der Populationsgrößen bis hin zum Erlöschen von Vorkommen lagen in der Regel bei den Larvalhabitaten. Die intensive Beschäftigung mit den

Wechselbeziehungen zu Nektarquellen ist gerade wieder aktuell geworden (REINHARDT & WAGLER 2017, RICHERT & BRAUNER 2018). In den Atlaswerken werden meist artspezifisch besuchte Nektarquellen aufgezählt, einschließlich des Verweises auf andere Saugmedien wie Kot, Aas, Baumsäfte, Schweiß etc. insbesondere bei vielen Arten im Wald, und die verbreitete Mineralienaufnahme an feuchten Bodenstellen, z. B. bei vielen Bläulingen.

Neue Experimente zeigen jedoch die Bedeutung von Nahrungsquellen am Beispiel des Ochsenauges (*Maniola jurtina*) in Agrarlandschaften: Ein Mangel an Nektarquellen führte bei den Faltern beispielsweise zu einem reduzierten Körpergewicht, geringerem Fettanteil an der Körpermasse und kürzerer Lebensdauer (LEBEAU et al. 2016). Ein Einfluss auf den Reproduktionserfolg ist somit zu erwarten, wenn die Landschaften extrem blütenarm werden.

Viele Arten sind im Larvallebensraum hoch spezialisiert und benötigen die genau richtigen Ausprägungen für eine erfolgreiche Entwicklung. Dies konnte in zahlreichen Studien von einzelnen Arten immer wieder gezeigt werden und führt weit über spezifische Raupennahrungspflanzen hinaus. Ein Beispiel dafür ist der Apollofalter (*Parnassius apollo*), eine Art, mit der sich schon unzählige Wissenschaftler und Sammler intensiv beschäftigt hatten. Eine vertiefte Analyse der benötigten Bedingungen im Larvalhabitat erfolgte jedoch erst, als das Erlöschen der Art in verschiedenen Bundesländern zu befürchten war. In Bayern konnte gezeigt werden, dass sogar zwischen jüngeren und älteren Larvenstadien unterschieden werden muss, da bis zum 3. Larvenstadium der Lebensraum- und Ressourcennutzung deutlich engere Grenzen gesetzt sind (GEYER & DOLEK 1995, 1999, 2001). Die jungen Raupen fressen nur die kleinen, noch nicht voll entwickelten Blätter an den Triebspitzen des Weißen Mauerpfeffers (*Sedum album*), wenn dieser niedrigwüchsig, kriechend und rotblättrig ist. Auch das Auftreten von grasiger Vegetation und Moospolstern in der Umgebung ist nachteilig, da sie zu einem kühleren Mikroklima führen.

Derartige komplexe Zusammenhänge konnten für die Raupenstadien vieler Arten gezeigt werden, wiederkehrende Einflussfaktoren sind z. B. Mikroklima, Vegetationsstruktur, physiologischer Zustand der Nahrungspflanze. Unter manchen Bedingungen werden erst gar keine Eier abgelegt

(z. B. starke Beschattung der Raupennahrungspflanze), unter anderen Bedingungen kann die Mortalitätsrate so hoch sein, dass kein Überleben der Population möglich ist (z. B. Hochmoor-Gelbling *Colias palaeno*, DOLEK et al. 2019).

Auch die beiden anderen Stadien, Ei und Puppe, benötigen ihre spezifischen Bedingungen. Nur weil für einzelne Arten der genaue Eiablageort bekannt ist, kann die Eisuche z. B. im Winter erfolgreich durchgeführt werden (HERMANN 2007). Da Ei und Puppe jedoch weitgehend unbeweglich sind, ist für das Überleben dieser Stadien meist Tarnen oder Verstecken der wesentliche Faktor. Besonders auffällig abgelegte Eier, wie zum Beispiel die der Enzian-Ameisenbläulinge, benötigen andere Strategien. Hier ist es eine besonders dicke Eihülle, die sie vor Parasitierung schützt. Sie ist allerdings auch so dick, dass die Jungraupe nicht ausschlüpfen kann und immer an der Anheftungsstelle in das Eiablagemedium (Enzianblatt oder -blüte) schlüpft (THOMAS et al. 2008). Die verwandten Ameisenbläulinge an Thymian bzw. Großem Wiesenknopf hingegen legen ihre Eier in die Blütenköpfe tief zwischen die Einzelblüten der Nahrungspflanze und können sich daher eine sehr dünne Eischale leisten.

Vor dem Hintergrund derartiger ökologischer Anpassungen und Spezialisierungen sind auch viele Gefährdungsfaktoren zu sehen. Sobald die eingespielten Wechselbeziehungen auch nur an einer kleinen Stelle verändert werden, können die Auswirkungen für eine einzelne Art immens sein und schnell zum lokalen Erlöschen führen. Bei den beiden Arten der Wiesenknopf-Ameisenbläulinge (*Phengaris nausithous* und *P. teleius*) ist der Mahdzeitpunkt der besiedelten Wiesen eine solche Stellschraube. Eine geringfügige Verschiebung kann dazu führen, dass alle Raupenstadien noch in den Blütenköpfen fressen und durch die Mahd entfernt werden, mit der Folge, dass auf der betreffenden Fläche keine erfolgreiche Reproduktion stattfindet.

Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung haben sich zahlreiche Veränderungen ergeben, die wie vorgesehen zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion geführt haben. Gleichzeitig haben diese als Intensivierung der Landwirtschaft zusammengefassten Veränderungen auch zu Gefährdungen von Tagfaltern und Widderchen geführt. Meist wird hier vor allem an das Grünland gedacht, aber auch in Ackerlandschaften gibt



Abb. 3: Puppe des Aurorafalters (*Anthocharis cardamines*).
Foto: Arik Siegel

es einen Verlust an Lebensräumen. In einer wenig intensivierten Ackerlandschaft Siebenbürgens (Rumänien) haben Transsektzählungen von Tagfaltern eine artenreiche und interessante Tagfalterfauna nachgewiesen (LANG et al. 2019). Derartig reiche Tagfaltergemeinschaften sind in Deutschlands Ackerlandschaften nicht mehr vorstellbar, waren aber ebenfalls einmal vorhanden. So konnten zum Beispiel Vorkommen des Violetten Feuerfalters *Lycaena alciphron* an mageren Böschungen, Rainen und Restflächen in Ackerlandschaften der Oberpfalz festgestellt werden (DOLEK & GEYER 2001). Diese Art würde ansonsten kaum als Art der Ackerlandschaften betrachtet werden. Die reichen Tagfaltergemeinschaften sind verschwunden, weil alle möglichen Kleinstrukturen (Böschungen, Wegraine, Säume, ungenutzte Restflächen, Hecken), die ursprünglich in Ackerlandschaften eingestreut waren, entweder in die Produktionsflächen einbezogen wurden oder ihre Funktion als (Larval-)Lebensraum nicht mehr erfüllen können. Die Problematik des Verlusts solcher Kleinflächen ist allgemein bekannt, sodass sie teilweise wieder angelegt werden. Leider ist auch hier die Funktionalität als vielfältiger Lebensraum oft eingeschränkt, da das Nährstoffniveau in Ackerlandschaften so hoch ist, dass sich die benötigte Vegetations- und Strukturvielfalt nicht entwickeln kann. Insbesondere Wegraine werden zudem im Sommer meist gemulcht und dadurch als Lebensraum zerstört. Auch die heute übliche Nutzung in den Ackerflächen mit regelmäßiger Düngung und Pestizidausbringung ist für die Tagfalter nachteilig und wirkt sich zusätzlich auf die Nachbarflächen aus.

Viele heimische Tagfalter- und Widderchenarten besiedeln verschiedene Formen des Grünlands, von feucht bis trocken, von sehr nährstoffarm bis zu einem mittleren Nährstoffniveau. Grünländer mit dem heute üblichen hohen Nährstoffniveau stellen kaum noch Tagfalterlebensräume dar. Sobald mehr als zwei Schnitte möglich und notwendig werden, ist das Nährstoffniveau aus Tagfalter-sicht bereits kritisch.

Neben der Landwirtschaft ist die Forstwirtschaft eine Nutzungsform, die für große Flächenanteile in Deutschland zuständig ist. Hier liegt die Hauptaufgabe in der Produktion von Holz für verschiedene Nutzungen, dazu sind in der Regel dichte Waldbestände vorteilhaft. Da Tagfalter auch im Wald lichtbedürftig sind, stehen ihre Ansprüche im Gegensatz zur vorrangigen Holzproduktion. Die Wälder in Deutschland sind aktuell besonders dicht und dunkel und beherbergen daher kaum noch Tagfalter, die besonders spezialisierten Arten sind großräumig erloschen oder gefährdet. Die Mittelwaldwirtschaft eines Waldgebietes in Franken zeigt, wie sogar hochgradig gefährdete Arten durch Licht im Wald erhalten und gefördert werden können (DOLEK et al. 2018). Bereits ein Netzwerk von breiten Waldwegsäumen und anderen Kleinstrukturen im Wald könnte zu positiven Effekten führen. In vielen Wäldern kommen jedoch auch Nährstoffeinträge als Problematik hinzu. Sobald mehr Licht verfügbar ist, können sich nährstoffliebende Pflanzen etablieren und die magere walddtypische Saumvegetation verdrängen. Zudem ist auch in Wäldern das Mulchen von Wegrändern heute üblich. Sowohl innerhalb des Waldes als auch am Waldaußenrand sind Grenzflächen oft als abrupter Übergang von einer Nutzung zur nächsten ausgeprägt. Struktureiche, offene oder geschlossene Waldränder mit breiten Übergängen und Strauch-Saum-Bereichen wären hingegen für viele Tagfalterarten wertvoller Lebensraum. Schließlich erfolgen auch in Wäldern immer wieder großflächige Bekämpfungen von Schädlingen, wenn eine Massenvermehrung befürchtet wird. Bekämpft wird z. B. mit Mitteln, die den Häutungsprozess stören, oder die spezifisch auf Schmetterlinge wirken, da die Zielarten ebenfalls Schmetterlinge sind. Schwammspinner und Eichenprozessionsspinner haben hier in den vergangenen Jahren eine gewisse Bekanntheit erlangt. Die Auswirkungen auf Tagfalter als Nicht-Zielorganismen können bisher nur vermutet werden.

In Siedlungsgebieten ist die Nutzung von Privatgärten, öffentlichen Grünflächen und Ruderalflächen häufig nicht schmetterlingsfreundlich, ohne dass dies notwendig wäre. Häufig speisen sich Maßnahmen aus einem Schönheits- und Ordnungsempfinden, das schmetterlingsfreundliche Bedingungen nicht in Betracht zieht. Maßnahmen wie Düngung, Spritzmitteleinsatz, Nutzung exotischer oder nicht schmetterlingsfreundlicher Pflanzen, häufige Mahd oder gar Mulchen, Versiegelung und Anlegen reiner Steinflächen oder das Nicht-Dulden von kleinen Brachflächen sind weit verbreitet und für Schmetterlinge schädlich. Das in der Öffentlichkeit bekannteste Beispiel zur Förderung einiger der bekanntesten Tagfalterarten in Gärten ist das Belassen von Brennnesselherden für die daran lebenden Raupen.

Auch auf Flächen, die überwiegend für Naturschutzzwecke gepflegt werden, treten verschiedene Gefährdungen auf, gegen die spezifische Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Dies betrifft insbesondere die Offenhaltung von Grünlandflächen durch Entbuschung, die Förderung magerer Bedingungen durch Nährstoffaustrag, die Anpassung von Mahdterminen und Weidebedingungen an die Phänologie der Zielarten. Viele wertvolle Biotopflächen sind verändert und vernichtet worden, aber auch auf den verbliebenen Biotopflächen kann lokal ein hoher Nutzungs- und Intensivierungsdruck entstehen. Solche weiteren Veränderungen sollten trotz entgegenstehender wirtschaftlicher Interessen vermieden werden.

Neben den bereits mehrfach erwähnten Nährstoffeinträgen sind Klimaveränderungen wichtige großflächig wirkende Einflussfaktoren. Tagfalter als wechselwarme Organismen mit kurzen Generationszeiten reagieren sehr rasch. So wurden beispielsweise Veränderungen der Phänologie (STEFANESCU et al. 2003), der Verbreitungsgebiete (PÖYRY et al. 2009) und der Populationsdynamik (OLIVER et al. 2012) beobachtet, die durch rezente klimatische Veränderungen erklärt werden können. Klimanischenmodelle, bei denen die momentane Verbreitung durch die derzeitigen Klimaverhältnisse erklärt wird, zeigen, dass in Abhängigkeit vom jeweils zugrunde gelegten Klimawandel-szenario viele europäische Tagfalterarten große Teile ihres nutzbaren Klimaraumes verlieren könnten (SETTELE et al. 2008). Temperaturbedingte Veränderungen von Tagfaltergemeinschaften zeigt der „Community Temperature Index“

(DEVICTOR et al. 2012) an. Eine zunehmende Dominanz südlich verbreiteter Arten ist in Teilen Deutschlands (WIEMERS et al. 2013) und Europas (VAN SWAAY et al. (2010) zu verzeichnen. Allerdings gehen auch viele wärmeliebende Arten zurück, ein Grund könnte die mikroklimatische Abkühlung durch früheres und stärkeres Vegetationswachstum aufgrund von Nährstoffeinträgen und Klimaerwärmung sein (WALLIS DE VRIES & VAN SWAAY 2006). Besonders betroffen sind Arten, die als Ei oder Raupe überwintern.

Die Diskussion zum Klimawandel zeigt bereits, dass Tagfalter eine Reihe wichtiger Kriterien erfüllen, um als wirkungsvolle Indikatoren für Umweltveränderungen herangezogen werden zu können. Wie bereits dargestellt, üben durch Landnutzung verursachte Veränderungen von Landschaft und Habitaten, wie Fragmentierung oder Sukzession, einen sehr starken Einfluss auf Tagfalterpopulationen aus. Landnutzungseffekte spiegelt auch der „European Grassland Butterfly Indicator“ wider (VAN SWAAY et al. 2015), der einen starken europaweiten Rückgang der Tagfalterarten des Grünlandes seit 1990 zeigt. Die Entwicklung solcher Indikatoren kann sehr gut auf Basis von Daten des Tagfalter-Monitorings erfolgen.

Tagfalter-Monitoring Deutschland

Das standardisierte und regelmäßige Zählen von tagaktiven Schmetterlingen (Tagfalter-Monitoring) hat in Europa Tradition. Bereits seit 1976 wird in Großbritannien eine systematische Falterzählung durchgeführt. Seit 1990 zählen Falterfreunde in den Niederlanden und seit 2005 werden auch in Deutschland jedes Jahr in der Zeit von April bis September Tagfalter erfasst.

Das Besondere daran ist, dass die Zählungen von Interessierten in ihrer Freizeit durchgeführt und die Daten wissenschaftlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden. In Deutschland hat das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ die Koordination des Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD) übernommen und hier werden die Daten auch ausgewertet.

Damit die Daten wissenschaftlich fundiert ausgewertet und europaweit verglichen werden können, werden die Zählungen nach einem definierten Standard entlang von festgelegten Zählstre-



Abb. 4: Raupe des Karst-Weißflings (*Pieris manni*) mit für Jungraupen typischer schwarzer Kopfkapsel. Diese mediterrane verbreitete Art hat sich erst in den letzten Jahren in Deutschland ausgebreitet. Foto: Arik Siegel

cken (= Transekten) durchgeführt. Die Lage und auch die Länge der Zählstrecke werden vom Zähler selbst bestimmt. Eine Strecke wird in Abschnitte von jeweils 50 m unterteilt. Gezählt wird in einem 5 m breiten Korridor. In diesem Bereich werden alle Tagfalterarten erfasst sowie die Anzahl der Tiere pro Art. Ein Transekt kann aus einem bis zu maximal zehn Abschnitten (= 500 m) bestehen. Diese standardisierte Zählung wird optimalerweise in der Zeit von April bis September einmal pro Woche bei geeignetem Wetter (nicht zu kalt, nicht zu windig) durchgeführt. Einzelne Begehungen können ausfallen, aber als Minimum werden zehn Termine pro Saison angesehen. Die ausführliche Anleitung ist nachzulesen in KÜHN et al. (2014).

Ziel des Tagfalter-Monitorings ist es, die großräumige Bestandsentwicklung der Tagfalterpopulationen in der „Normallandschaft“ zu erfassen. Die meisten Transekte liegen nicht in Schutzgebieten oder in besonders falterreichen Gebieten, sondern in Laufentfernung vom Wohnort. Entsprechend werden auch überwiegend häufige Falterarten dokumentiert. Von den knapp 150 in Deutschland vorkommenden (außer-alpinen) Tagfalterarten werden im Rahmen des Tagfalter-Monitoring Deutschland circa 120 Arten erfasst. Einige sehr seltene Arten fehlen in der Erfassung und einige Arten werden aufgrund ihrer Lebensweise seltener gemeldet, als sie eigentlich vorkommen.

Die im Rahmen des Tagfalter-Monitorings erhobenen Daten stellen für die Wissenschaft einen einmaligen Datenschatz dar. Denn nur selten wer-