Wagner, W. (2006): Präimaginalökologie mitteleuropäischer *Zygaena*-Arten – schwerpunktmäßig untersucht auf Magerrasen der Schwäbischen Alb – In: Fartmann, T. & G. Hermann (Hrsg.) (2006): Larvalökologie von Tagfaltern und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde. Heft 68 (3/4): 171–196.

Präimaginalökologie mitteleuropäischer *Zygaena*-Arten – schwerpunktmäßig untersucht auf Magerrasen der Schwäbischen Alb

Wolfgang Wagner, Kronburg

Abstract: Larval ecology of central European *Zygaena* species – particularly studied in calcareous grasslands of the Swabian mountains ("Schwäbische Alb", Baden-Wuerttemberg).
A study of the regional ecology of nine sympatric and partly abundant species of burnet moths (Lepidoptera: Zygaenidae) was carried out between 1998 and 2002 at altogether 31 lime stone habitats (calcareous grassland, old quarries) of the Swabian mountains ("Schwäbische Alb", Baden-Wuerttemberg) in order to reveal possible niche separations and their mechanisms.

These habitats were divided into 60 more or less homogeneous sub areas. Data of relative abundance and phenology for the species at the different localities were collected using a transect method with at least weekly recording at each site. Furthermore an analysis of the biotic resources (larval host plants and imaginal nectar sources) and the abiotic factors (e.g. exposition, slope) in correlation with the occurrence and abundance of each of the nine species was worked out using a ranking system for the factors. Additionally, the immature stages were studied by breeding under artificial and semi-natural conditions and by intensive field investigations in order to reveal their phenology and especially dormancy behaviour.

The results indicate a phenological, spatial and food biological separation of the nine species within the calcareous habitats. The species have different flight periods ranging from June to September. These differences in the flight periods are mainly caused by a different beginning of activity in the spring. All species have an obligatory first diapause which occurs mostly in the third or fourth larval instar. Larvae of *Z. minos*, *Z. purpuralis* and *Z. loti* end diapause already in March whereas *Z. transalpina* and *Z. filipendulae* hibernate mostly until late April or May. Additionally different speed of development and different main hibernating instars have influence on the flight period.

The spatial separation is revealed by the habitat analysis. *Zygaena viciae* and probably (low data) *Z. lonicerae* inhabit more mesophile and less grazed habitats and show no correlation with either exposition or slope. On the other end of the scale *Zygaena carniolica* is the most xerothermic species inhabiting significant south facing slopes which can be heavily grazed and are often very stony and dry.

The species are also separated in respect to food biology. Species with similar flight time normally use different larval host plants.

The phenology of the whole genus *Zygaena* is strongly correlated with the relative late phenology of the favoured nectar plants in the area and is thus retarded. The early species appear shortly after the first flowers of *Dianthus carthusianorum*, *Echium vulgare* and *Knautia arvensis*. The highest abundance of *Zygaena* spp. can be observed at the end of July to early August where there is a peak in availability of nectar providing plants.

How do these results fit together? An important quality of the investigated species is the minimum time of development under given climatic conditions. Species which need most of the vegetation period to perform their only generation show less variability in ending the diapause and have a shorter flight period. Species which only need a part of the vegetation period may adjust their flight time to other factors such as the availability of nectar resources. *Zygaena filipendulae* also shows a great variability with individuals terminating diapause over a period of at least seven weeks. In addition to possible different speed of development and different diapause instars (L_2–L_6), this leads to an extended flight period of three months and more at favourable conditions of nectar availability.

The zygaenid moths and the whole species-rich biocenosis of lime-stone hills are endangered as losses in habitats still continue quantitatively and qualitatively. This is due to the abandonment of sheep grazing and following succession, the direct destruction for infrastructure or site construction and the nitrogen deposition from agriculture, industry and traffic through precipitation.

Additionally the remaining five *Zygaena*-species of the total of 14 species which are currently occurring in central Europe north of the Alps were also investigated in the respect of larval habitats and phenology. These results which are based on lower data are presented, too.

Zusammenfassung

Vor allem zwischen 1998 und 2002 wurden während einer Diplom- und anschließenden Dissertationsarbeit an der Universität Ulm insgesamt 31 Kalkmagerrasen auf der östlichen Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg) auf ihr Vorkommen an Rotwidderchen (*Zygaena*-Arten) untersucht. Mittels einer Transektmethode wurden die relativen Abundanzen, die Phänologie und das Blütenbesuchsverhalten der Widderchen festgestellt. Mit Hilfe einer Analyse der abiotischen (Neigung, Exposition, Offenboden- und Skelettanteil etc.) und biotischen (Nahrungspflanzen) Faktoren ließen sich auf 60 Teilflächen die Bedingungen für individuenreiche Populationen der jeweiligen Widderchenarten erfassen (Larvalhabitate). Weiterhin wurde das Dormanzverhalten der Präimaginalstadien im Freiland und unter Zuchtbedingungen anhand des Eintritts in die Diapause und ihre Beendigung im Frühjahr so weit wie möglich untersucht.

Nach den Ergebnissen liegt eine phänologische, räumliche und nahrungsbiologische Einnischung der neun nachgewiesenen Widderchenarten innerhalb der Kalkmagerrasen vor. Verursacht wird die unterschiedliche Flugzeit neben unterschiedlicher Überwinterungsgröße und Entwicklungsgeschwindigkeit in erster Linie durch einen verschobenen Aktivitätsbeginn der als Larven überwinternden Tiere. So sind die Raupen von *Z. minos* und *Z. loti* bereits ab März freßaktiv, während sich diejenigen von *Z. filipendulae* großteils erst von Mitte April bis Mai aus dem Dormanzstadium häuten. Eine wichtige Größe ist hierbei die Mindestentwicklungszeit der einzelnen Arten unter mitteleuropäschen Klimabedingungen.

Zudem ist eine räumliche Einnischung verwirklicht. Diese zeigt sich in unterschiedlicher Nutzung der Vegetationseinheiten der Magerrasen. Ein Teil dieser Einnischungsphänomene beruht auf direkten Faktoren wie dem gehäuften Vorkommen der Raupennahrungspflanze in bestimmten Beständen (*Z. ephialtes*, *Z. transalpina*). Sehr bedeutend ist jedoch wie bei der Phänologie der Faktor der unterschiedlichen Mindestentwicklungszeit. Individuenreiche Populationen von Arten mit langer Entwicklungsdauer wie *Z. carniolica* sind meist wesentlich stärker auf südexponierte, magere Lagen mit xerothermem Mikroklima beschränkt als solche mit kürzerer.
Die nahrungsbiologische Einnischung zeigt sich in einer phänologischen Korrelation der Widderchen und ihrer wichtigsten Nektarpflanzen im Untersuchungsgebiet. Auch bei den Raupen waren Einnischungsphänomene zu beobachten, und zwar dergestalt, dass synphäne und syntope Arten verschiedene Nahrungspflanzen aufwiesen.

Bedroht sind die Widderchen und mit ihnen die gesamte Biozönose der Kalkmagerrasen durch den fortschreitenden Lebensraumverlust quantitativer und qualitativer Natur. Nur durch einen Erhalt der noch vorhandenen Flächen mittels geeigneter Maßnahmen wie Schafbeweidung, Entbuschungen und Teilmahd unter Verzicht weiterer Bebauungen auch im Umfeld kann einem massiven weiteren Artenverlust entgegengewirkt werden.

Zudem wurden die übrigen in Mitteleuropa nördlich der Alpen rezent bodenständigen Arten an unterschiedlichen Fundorten ebenfalls im Hinblick auf Larvalhabitate und -phänologie untersucht, wenn auch weniger intensiv. Diese Ergebnisse werden ebenfalls vorgestellt.

1 Einleitung

Die Rotwidderchen sind eine phänotypisch und verhaltensbiologisch weitgehend einheitliche Schmetterlingsgruppe aus der Familie Zygaenidae. Ihr tagaktives Verhalten, ihre auffällige schwarz-rote Warnfärbung (aposematisches Muster) und ihr auf Magerrasen meist abundantes Auftreten machen sie zu auffälligen Erscheinungen der mitteleuropäischen Fauna.

Aufgrund ihrer leichten Erfassbarkeit eignen sich die Rotwidderchen gut für populationsökologische Studien zur Erforschung von Populationsdynamik und Ausbreitungsmechanismen. Darüber hinaus weisen die Arten infolge abgestufter Euryökiegrade die nötigen Voraussetzungen für die Verwendung als naturschutzrelevante Bioindikatoren für intakte Kalkmagerrasen (Hofmann 1994) auf. Weiterhin sind einige Eigenheiten ihres Entwicklungszyklus von Interesse für die physioökologische Forschung, so die durch potentielle, fraktionierte Mehrjährigkeit verkomplizierte Ontogenese und die Markierung der Diapause durch Häutung in ein besonderes, freßinaktives Stadium. Erst nach erneuter Häutung im Frühjahr ist eine weitere Nahrungsaufnahme der in Mitteleuropa obligatorisch mindestens einmal als Larve überwinternden Tiere möglich. Während der Anteil mehrjähriger Larven als Anpassungsstrategie zum Überleben ungünstiger Witterung während der Aktivitätsperioden mit zunehmender geographischer Breite steigt, sind dafür vor allem in südlicheren Gegenden wie dem Mittelmeergebiet eine „Sommerdiapause" sowie weitere, die Larvalphase verlängernde Mechanismen zum Überdauern von Trockenzeiten bekannt (Wipking 1990).

Wenn auch die allgemeinen Lebensansprüche der in Mitteleuropa heimischen Arten, also etwa die potentiellen Raupennahrungspflanzen und die Einnischung in unterschiedliche Lebensraumtypen wie beispielsweise Trockenrasen, Feuchtwiesen oder Waldmantel- und Saumstrukturen durch grundlegende Arbeiten (Tarmann 1975, Tremewan 1985, Aistleitner 1990, Keil 1993, Hofmann 1994, Weidemann & Köhler 1996) in vielen

Fällen als prinzipiell erforscht gelten können, so beschäftigen sich doch kaum Arbeiten umfassend larval- und imaginalbiologisch mit der Feineinnischung und Ressourcenaufteilung an konkreten Vorkommensorten mehrerer syntoper Arten.

Da die Widderchenarten, die in Mitteleuropa ihre größte Diversität auf trockenen Kalkmagerrasen erreichen, an geeigneten Standorten zu hohen Populationsdichten neigen, ist anzunehmen, dass in Biotopen mit mehreren syntopen Arten Koexistenzstrategien herausgebildet wurden. Zur Überprüfung dieser Hypothese beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Einnischung, den Larvalhabitaten und dem Lebenszyklus von neun teils syntop vorkommenden Rotwidderchen-Arten auf Kalkmagerrasen der östlichen Schwäbischen Alb. Zudem wird auch auf die restlichen mitteleuropäischen Arten eingegangen. Ausgehend von auch aus larvalbiologischen Untersuchungen ermöglichten Analysen zur phänologischen, räumlichen und nahrungsbiologischen Trennung der Arten werden modellhaft für das Untersuchungsgebiet die zugrunde liegenden Mechanismen so weit wie möglich aufgedeckt, die beispielsweise die unterschiedliche oder variable Flugzeit wie diejenige von *Zygaena filipendulae* erklären. Bei den bisher bekannten, in der Literatur oft mangels Erklärungsmöglichkeiten als „seltsam" bezeichneten Aspekten der strategiereichen Entwicklung von Zygaenen, die sich besonders phänologisch manifestieren, ist eine Annäherung an die verursachenden Mechanismen bislang erst bei wenigen Arten und auch hier nur ansatzweise in anderen Gegenden erfolgt (beispielsweise WIPKING 1990). Aufgrund des Arbeitsaufwandes kaum untersucht wurde bisher die für eine angemessene Beurteilung der Verhältnisse im Feld unerlässliche Freiland-Phänologie der jüngeren, noch nicht ausgewachsenen Larvalstadien, worauf in vorliegender Arbeit ein Schwerpunkt gelegt wurde.

2 Methoden

2.1 Arten, Untersuchungsgebiet und -zeitraum

Die genauen Untersuchungsgebiete sind Tabelle 1 zu entnehmen. In vorliegender Arbeit werden alle in Mitteleuropa nördlich des Alpenhauptkammes heimischen *Zygaena*-Arten berücksichtigt. Dabei wurden die neun Arten *Z. minos* (Denis & Schiffermüller, 1775), *Zygaena purpuralis* (Brünnich, 1763), *Z. carniolica* (Scopoli, 1763), *Z. loti* (Denis & Schiffermüller, 1775), *Z. viciae* (Denis & Schiffermüller, 1775), *Z. ephialtes* (Linnaeus, 1767), *Z. transalpina* (Esper, 1780), *Z. filipendulae* (Linnaeus, 1758) und *Z. lonicerae* (Scheven, 1777) während einer auf der östlichen Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg) im Landkres Heidenheim zwischen 1998 und April 2002 durchgeführten Diplom- und anschließenden Promotionsarbeit auf zuletzt 31 Magerrasen-Komplexen intensiver untersucht.

Sieben Gebiete wurden über vier Jahre von 1998–2001 bearbeitet. Die Bearbeitung der restlichen Flächen erfolgte meist 2000–2001. Im Frühjahr 2002 wurden noch ergänzende Untersuchungen zum Aktivitätsbeginn der Raupen nach der Diapause durchgeführt. Es wurden aber auch larvalbiologische Befunde aus anschließenden Jahren noch berücksichtigt. Diese späteren Befunde flossen aber meist nicht mehr in die Diagramme mit ein.

Die im UG gelegenen Magerrasen-Komplexe deckten ein breites Spektrum ab, was Beweidungsintensität, Exposition, Hangneigung, Gehölz- und Felsanteil sowie andere Faktoren betrifft.

Die Arten *Z. fausta* (Linnaeus, 1767), *Z. osterodensis* Reiss, 1921, *Z. angelicae* Ochsenheimer, 1808, *Z. trifolii* (Esper, 1783) und *Z. exulans* (Hohenwarth, 1792) wurden an

Tab. 1: Untersuchungsgebiete und -zeitraum. Bei mehreren Gebieten/Zeiträumen sind die wichtigeren fett gedruckt.

Zygaena-Art	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
Z. minos	**Ostalb (Kreis Heidenheim)**	**1998–2002** (–2005)
Z. purpuralis	**Ostalb,** Valle di Susa (I)	**1998–2002** (–2005)
Z. carniolica	**Ostalb,** Steigerwald, Valle di Susa	**1998–2002** (–2005)
Z. loti	**Ostalb,** Montafon (A), Allgäu	**1998–2002** (–2005)
Z. viciae	**Ostalb,** Allgäu	**1998–2002** (–2005)
Z. ephialtes	**Ostalb,** Unterallgäu	**1998–2002** (–2005)
Z. transalpina	**Ostalb,** Unterallgäu, Allgäu, Montafon	2000–2005
Z. filipendulae	**Ostalb, Voralpenland** (Allgäu, Ammersee), Valle di Susa	**1998–2002** (–2005)
Z. lonicerae	**Ostalb,** Steigerwald,Valle di Susa	1998–2005
Z. fausta	**Schwäbische Alb**, Valle di Susa, Provence (F)	2001–2005
Z. exulans	Vorarlberg (Rätikon, Silvretta), Wallis (CH, Täschalpe)	2000–2005
Z. osterodensis	Steigerwald	2000–**2005**
Z. angelicae elegans	Schwäbische Alb	2003, 2005
Z. trifolii	Unterallgäu (Memmingen-Kronburg)	2000–2002

unterschiedlichen Standorten in geringerer Intensität und unregelmäßig untersucht und werden vor allem bei den Kapiteln 3, 4 und 5.2 behandelt. Daneben wurden auch Beobachtungen zu den neun oben genannten Arten außerhalb der Ostalb gesammelt, so besonders zu Feuchthabitate besiedelnden Populationen von *Z. transalpina* und *Z. filipendulae* (jeweils Voralpenland). Wenn im folgenden Text keine expliziten Angaben gemacht werden, beziehen sich die Ergebnisse bei diesen neun Arten immer auf das Untersuchungsgebiet (UG) im Landkreis Heidenheim.

2.2 Präimaginalphänologie

Phänologie und Verteilung der Imagines wurden mittels einer Transektmethode (z.B. POLLARD 1977) untersucht, die der Präimaginalstadien hingegen schwerpunktmäßig durch intensive selektive Nachsuche. So sollte das Freilandverhalten, die Nahrungspflanzenwahl und der Aktivitätsbeginn der Tiere nach dem Winter erfasst werden. Hierfür wurden gezielt Orte mit im Vorjahr hoher Imaginaldichte bevorzugt. Dabei musste die bodennahe Vegetation intensiv untersucht werden. Bei kleinen Raupen von *Z. transalpina*, *Z. purpuralis* sowie *Z. filipendulae* vor und kurz nach der Überwinterung klopfte ich die Tiere aus der bodennahen Vegetation heraus. Dies geschah dadurch, dass eine Hand vorsichtig unter das Pflanzenpolster geschoben wurde und mit der anderen mehrfach darauf geklopft wurde, was sich als sehr erfolgreich erwies.

Bei *Z. minos* gaben frische Fraßspuren an eben ausgetriebenen Bibernell-Blättern (*Pimpinella saxifraga*) die entscheidenden Hinweise. Wenn das zugehörige Räupchen nicht direkt an der Pflanze saß, konnte es meist in deren Nähe in beziehungsweise unter Moos, altem Buchenlaub und Gras gefunden werden. Besonders durch das vorsichtige Auseinanderdrücken von austreibenden Esparsettenhorsten fanden sich junge Raupen von *Z. loti*.

Z. carniolica verriet sich als Junglarve durch einen starken Fenster- bzw. Platzminenfraß an *Lotus corniculatus*. Besonders im September und April/Anfang Mai waren an guten

Stellen die Hornklee-Pflänzchen übersät von weißen Flecken, die vom Stehenlassen der Blattepidermis beim Fraß herrührten.

Ältere Tiere wurden rein visuell gesucht, wobei sich bedeckte, aber warme Tage als am geeignetsten erwiesen. Besonders bei *Z. filipendulae*, aber auch bei *Z. purpuralis* und anderen waren die Abendstunden von 20 bis 22 Uhr MESZ sowie der frühe Morgen von 6 bis 9 Uhr MESZ am erfolgreichsten. Um die Mittagszeit fand ich bei diesen Arten auch an Stellen, die abends reich besetzt waren, nur wenige Einzeltiere.

Für die Auswertung (Phänogramme) wurden dabei sämtliche Raupenfunde bei allen Begehungen der zumindest in einem Jahr regelmäßig besuchten Gebiete berücksichtigt, also im Gegensatz zu den Imagines auch bei mehrmaliger Nachsuche in einer Woche auf derselben Fläche. Teilweise wurden in diesen Gebieten auf der Ostalb auch einige Raupenfunde in nachfolgenden Jahren bis 2005 berücksichtigt, wobei dies dann in den Phänogrammen angegeben ist. Bis halbausgewachsene Raupen unter einem Zentimeter Länge bezeichne ich in vorliegender Arbeit als Jungraupen, solche über einen Zentimeter Länge als ältere Raupen. Ältere Larven sind also noch nicht unbedingt völlig ausgewachsen, sondern können sich noch etwa im vorletzten Stadium befinden. Längenangaben bei Larven beziehen sich immer auf den Ruhezustand. Beim Kriechen sind die Tiere gestreckter.

Zudem wurden bei den meisten der neun Arten, besonders umfangreich bei *Z. filipendulae*, *Z. transalpina* und *Z. loti* ex-ovo-Zuchten unter einmal annähernden Freilandbedingungen (gazeüberspannter Blumentopf) und zum anderen unter Zimmerzucht-Bedingungen durchgeführt.

2.3 Nektarpflanzen

Die Nektarpflanzen sind im Zusammenhang mit vorliegender Arbeit wichtig zum Verständnis, was sich als treibende Kraft hinter einigen phänologischen Strategien verbirgt. Bei den Begehungen zur Erfassung der relativen Abundanz und Phänologie der Imagines (Transsektmethode) wurden auch die Blütenbesuche notiert, wobei bei den „widderchentypischen" Gattungen (z.B. HOFMANN 1994, KREUSEL & BÖHMER 1998, NAUMANN et al. 1999, WAGNER 1999, 2002b) *Carduus*, *Centaurea*, *Cirsium*, *Dianthus*, *Echium*, *Knautia*, *Origanum* und *Scabiosa* ein bloßes Sitzen der Tiere auf (nicht unter oder neben) der Blüte als Blütenbesuch gewertet wurde. Bei den anderen Blütenpflanzengattungen musste ein Saugen mit dem Rüssel nachgewiesen sein. Zur zusätzlichen Beurteilung des Euryanthiegrades der Widderchenarten wurde der Diversitätsindex nach Shannon-Weaver in Bezug auf die jeweiligen Nektarpflanzen berechnet.

Zusätzlich erfolgte mittels wöchentlicher Vergabe eines relativen Blütenindex von eins bis vier für die widderchenrelevanten Nektarpflanzen der einzelnen Teilflächen eine Abschätzung der Blühphänologie und Blütenverteilung in den Einzelgebieten und der Gesamtphänologie der Pflanzenarten allgemein.

Dabei bedeutet ein Index von eins ein Vorhandensein weniger Blüten (bis etwa fünf) auf der Fläche von etwa einem Hektar. Eine zwei wurde bei spärlicher Blütenzahl (10–20 Blütenstände) vergeben. Die Kategorie drei bedeutet eine größere Blütendichte von mindestens 100 Infloreszenzen pro Hektar. Die vier schließlich indiziert eine überdurchschnittliche Blüte, also eine Massenblüte von teils mehreren tausend Infloreszenzen auf einem Hektar. Hierbei fasste ich die Gattungen *Carduus* und *Cirsium* aus praktischen Erwägungen zu einem Distelindex zusammen. Gezählt wurden meist keine Einzelblüten (nur *Dianthus*), sondern Infloreszenzen wie Köpfchen/Körbchen bei Dipsacaceen und Asteraceen, Trauben (*Onobrychis*) oder blühende Triebe (*Echium*, *Origanum*). Über eine Korrelation des Blühverlaufs mit der Widderchenphänologie wurde anschließend der

Zusammenhang zwischen Ressourcenbasis und -nutzung untersucht (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman r_s).

2.4 Gebietsanalyse

Die Untersuchungsgebiete wurden in 60 mehr oder weniger homogene Teilflächen untergliedert. Diese wurden dann anhand von Indizes für biotische Faktoren wie Häufigkeit und Vorkommen von Raupennahrungspflanzen, Magerkeit bzw. Verfilzungsgrad der Vegetation, Moos- und Gehölzanteil sowie abiotische Faktoren wie Exposition, Neigung, Fels-, Gesteins- und Offenbodenanteil und Flächengröße analysiert. Die vergebenen Indizes reichen von eins bis vier. Eine „Eins" bedeutet jeweils „wenig", das heißt geringe Neigung, kaum Steine oder Offenbodenstellen und geringe Waldnähe. Bei den Raupennahrungspflanzen erhielt ein Untersuchungsgebiet beim völligen Fehlen einer Art zusätzlich den Index „Null". Für die Durchschnittsindizes der Exposition addierte ich die Ziffern der jeweiligen Himmelsrichtungen, wobei Südlagen mit „vier", Südwest- und Südosthänge mit „drei", West- und Ost-Hänge mit „zwei" und weitgehend ebene Lagen sowie solche mit Nord- und Nordwestexposition mit „eins" bewertet wurden.

Die Indizes für die Faktoren wurden mit dem Vorkommen der jeweiligen Widderchenarten korreliert, wobei für die Arten zu jedem Faktor ein Durchschnittsindex für alle individuenreich (Abundanzindex 3–4) besetzten Teilflächen berechnet wurde. Zum Vergleich dient einerseits der Mittelwert aller Teilflächen und zum anderen derjenige aller nicht stark besiedelten. Bei den im Untersuchungsgebiet selten auftretenden Widderchenarten *Zygaena lonicerae* und *Z. ephialtes* erachtete ich bei der Auswahl der von in größerer Dichte bewohnten Gebiete bereits geringere Individuenzahlen als ausreichend (Abundanzindex 2, 5–15 Individuen pro ha) als bei häufigen Arten, um wenigstens einige Flächen auswerten zu können.

Für jeden Umweltfaktor und jede Widderchenart wurde der Rang-Korrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) berechnet und das Signifikanzniveau angegeben. Für diese Berechnung bewertete ich eine dichte Besiedelung mit „zwei", eine schwache mit „eins" und keine Nachweise auf der jeweiligen Fläche mit „null". Sämtliche statistische Auswertungen erfolgten mit dem PC-Programm „Statistica 6.0".

3 Larvalphänologie

Hier kann eine Unterteilung der Arten je nach dem Beginn der Frühjahrsaktivität der überwinterten Raupen vorgenommen werden, wobei dann kurz die Flugzeit der Imagines Erwähnung findet. In diesem Zusammenhang ist zudem die beobachtete Überwinterungsgröße sowie die Entwicklungsgeschwindigkeit von Bedeutung. Beobachtungen aus der Zucht unter Freilandbedingungen sowie Vergleiche mit einjährigen Herbstraupen und Erstfunden im Frühjahr zeigen, dass im UG auf der Ostalb die meisten Arten in der Masse nur eine Larvalüberwinterung aufweisen. Nicht genauer untersucht wurden hierbei *Z. lonicerae* und *Z. ephialtes*. Allerdings kann bei allen Arten ein – zumindest im UG im Freiland meist geringerer Teil um höchstens etwa 20 % – mehrfach als Raupe überwintern. Der Prozentsatz erhöhte sich stark unter solchen Zuchtbedingungen, bei denen die Larven relativ dunkel gehalten wurden.

Wie bereits im Methodenteil erwähnt, beziehen sich alle Beobachtungen – sofern nicht explizit anders angegeben – zu den neun im Kreis Heidenheim untersuchten Arten auf dieses UG. Häutungsangaben nach der Überwinterung beziehen sich auf nur einmal überwinterte Tiere.

3.1 Frühe Arten mit schneller Entwicklung nach der Überwinterung und größerer Überwinterungsgröße

Zu dieser Gruppe gehören *Zygaena minos*, *Z. loti*, *Z. osterodensis* und *Z. angelicae elegans*. *Z. minos*-Raupen häuten sich je nach Witterung im Laufe des März aus der Diapause (Abb. 1a), machen noch zwei bis drei Wachstumshäutungen durch und sind als erwachsene Raupen im Mai zu finden (Abb. 3) (nur in höher gelegenen Gebieten oder in kalten Jahren wohl ausnahmsweise noch bis Mitte Juni). Die Falter fliegen im UG früh ab 1. Juni bis spätestens Mitte Juli (nur in kühleren Jahren wie 2001) mit Maximum Ende Juni und sind von *Z. purpuralis* relativ getrennt mit kurzer, maximal zweiwöchiger Überschneidung, die von alten *Z. minos*-Weibchen und frischen *Z. purpuralis*-Männchen geprägt ist. Nach Zuchtbeobachtungen wird die Diapause meist bereits Anfang bis Mitte August erreicht, so dass ein Teil der Vegetationsperiode inaktiv zugebracht wird.

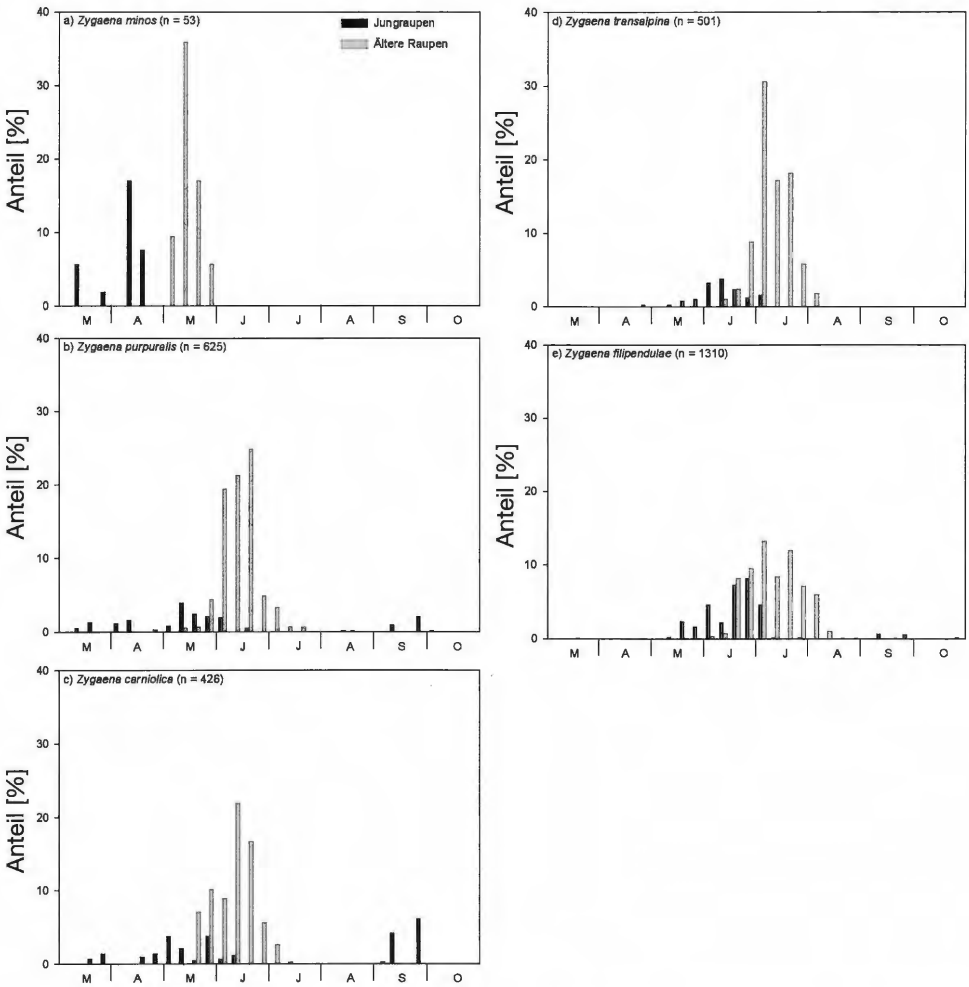

Abb. 1a–e: Larvalphänologie einiger *Zygaena*-Arten von März bis Oktober auf der Basis von Monatsvierteln im Kreis Heidenheim. *Zygaena minos* und *Z. purpuralis*: Daten von 1998–2005; sonst immer 1998–2002.

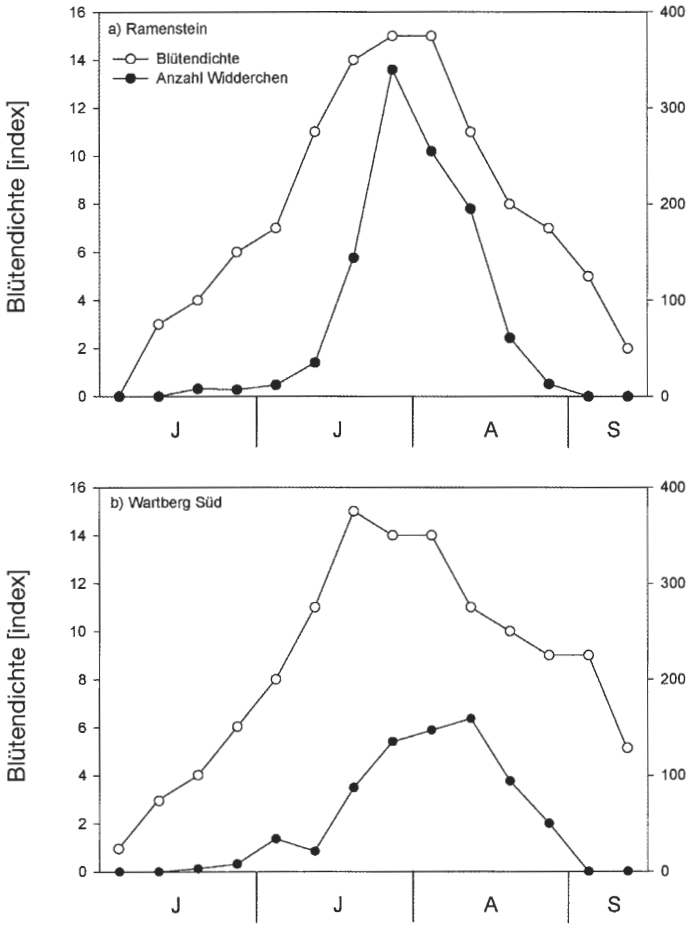

Abb. 2a–b: Phänologie der Widderchen (Individuensummen für Monatsviertel) im direkten Vergleich zur Dichte der wichtigsten Nektarpflanzen (wöchentliche Indexsummen) in zwei repräsentativen Gebieten im Kreis Heidenheim (Ostalb) im Jahr 2001. Berücksichtigete Nektarpflanzen-Arten: *Centaurea jacea*, *Dianthus carthusianorum*, *Echium vulgare*, *Knautia arvensis*, *Origanum vulgare*, *Scabiosa columbaria* und Disteln als Sammelindex der Arten *Carduus nutans* und *C. acanthoides* sowie *Cirsium arvense*, *C. eriophorum*, *C. vulgare* und *C. palustre*). Weitere Erläuterungen s. Kap. 2.3.

Raupen von *Z. loti* häuten sich Mitte März bis Anfang oder Mitte April (je nach Mikroklima und Witterung) aus der Diapause, benötigen noch zwei oder drei Wachstumshäutungen und sind von Mai bis Mitte Juni ausgewachsen zu finden. Falter flogen meist im Juni bis in die ersten Augusttage.

Erwachsene Raupen von *Z. osterodensis* fand ich in Nordbayern (Steigerwald) bereits Anfang Mai 2000 (Abb. 4). Am 24. März 2005 (eine Woche nach Schneeschmelze) wurde in einem Grasbüschel eine noch in der Diapausehaut befindliche Raupe gefunden, die sich aber umgehend häutete. Somit ist auch hier ein Aktivitätsbeginn je nach Lage des Habitats noch im März bis spätestens Anfang April anzunehmen. 2005 wurden weiterhin insgesamt 13 Raupen im vorletzten und letzten Stadium am 5. Mai sowie am 16. Mai (nur mehr

Abb. 3: Raupe von *Zygaena minos*: Die schneeweißen Tiere sind im Mai auf den in den Habitaten oft flächigen Moospolstern in der spärlichen Grasnarbe bei nicht zu heißem Wetter manchmal ziemlich auffällig, leben aber meist doch recht versteckt. Nattheim (Kreis Heidenheim), Mai 2001.

Abb. 4: Raupe von *Zygaena osterodensis* im letzten Stadium: Die Raupen sind im Sonnenschein oft an Stämmen oder altem Laub versteckt und nur zum Fressen auf der Nahrungspflanze. Steigerwald, Mai 2001.

erwachsene Tiere) gefunden. Kokons wurden Ende Mai/Anfang Juni zahlreich an den untersten, dünnen Ästen mittelalter Eichen am Waldrand registriert. Falter flogen ab 1. Juni bis Anfang Juli.

Z. angelicae elegans, zu der nur wenige eigene Beobachtungen vorliegen, dürfte ebenfalls mit Austrieb der Nahrungspflanze *Coronilla coronata* aus der Diapause erwachen und sich dann rasch entwickeln, wie Funde ausgewachsener Raupen bereits am 6. Mai 2003 (heißes Frühjahr) auf der Schwäbischen Alb zeigen. Am 16. April 2005 wurden an der austreibenden Nahrungspflanze mehrere Raupen zwischen 7 und 10 mm Länge beobachtet, zusammen mit deutlich kleineren *Z. fausta*. Die Flugzeit kann bereits Anfang Juni beginnen und dauert je nach Jahr bis Ende Juli. Andere *Z. angelicae*-Populationen (Unterarten) scheinen eine etwas spätere Phänologie aufzuweisen (WEIDEMANN & KÖHLER 1996).

3.2 Frühe Arten mit langsamerer Entwicklung nach der Überwinterung bzw. geringerer Überwinterungsgröße

Hier sind vor allem *Z. purpuralis*, aber auch *Z. carniolica* und *Z. fausta* zu nennen. *Z. purpuralis* wird im März kurz nach *Z. minos* aktiv, benötigt mindestens drei Wachstumshäutungen bis zur Verpuppung (etwas geringere durchschnittliche Überwinterungsgröße als *Z. minos*) und ist voll ausgewachsen erst ab Anfang Juni zu finden mit Maximum Mitte bis Ende des Monats. Jungraupen vor der Überwinterung wurden Ende August bis Anfang Oktober gefunden, vor allem Ende September. Die Falter fliegen im UG von Anfang Juli bis Mitte oder Ende August mit Maximum Mitte bis Ende Juli, im Extrem schon in den letzten Junitagen und noch Anfang September, insgesamt somit deutlich später als *Z. minos*. An anderen Stellen, so im Susatal (eig. Beob., 1000 m NN), Kaiserstuhl (HOFMANN 1994), Diemeltal (Maximum Anfang Juli, FARTMANN 2004) liegt die Flugzeit teilweise etwas früher. Zumeist kommt hier *Z. minos* nicht vor.

Z. carniolica-Raupen wurden ab Ende März gefunden. Nach mindestens drei Häutungen sind sie im Juni ausgewachsen. Anfang Juli wurden nur noch wenige Tiere registriert. Der Falter gehört im UG zu den späteren Arten und fliegt von (Anfang) Juli bis in die ersten Septembertage mit Maximum zur Monatswende Juli/August. Raupen vor der Überwinterung wurden im September beobachtet. Die Diapause dürfte erst ab Ende September bis Mitte Oktober erreicht werden. In anderen Gebieten fliegen die Falter teilweise etwas früher, so etwa im Diemeltal mit Maximum in der ersten Julihälfte (FARTMANN 2004).

Raupen von *Z. fausta* werden auf der Schwäbischen Alb mit Austrieb der Nahrungspflanze im April aktiv und sind meist bereits Ende Mai bis Mitte Juni ausgewachsen. Falter fliegen im Juli und August. Die Jungraupen erreichen die Diapause meist im September. Bei dieser Art wurde in der Provence und der Valle di Susa in tiefen, heiß-trockenen Lagen eine Fraßzeit der überwinterten Raupen von April bis Anfang Juni beobachtet, worauf die ausgewachsenen Raupen eine Sommerruhe bis Ende August einlegten und sich erst dann einspannen. Dies korreliert mit Falterfunden nach Mitte September (etwa im Massif de la Sainte Baume). In höheren Lagen (Mont Ventoux) und auch in Mitteleuropa scheint eine solche Ruhephase nicht vorzukommen bzw. wahrscheinlicher nur relativ kurz zu dauern, so dass die Falter früher fliegen als in den tiefen, heißen Lagen der Südwestalpen bzw. der Provence. Dies kann als Pseudobivoltinismus gewertet werden. In der Literatur sind aber auch Angaben zu echt bivoltinen Populationen in Südeuropa zu finden (z.B. HOFMANN 1994).

3.3 Mittelspäte Arten

Hierunter fallen *Z. viciae*, *Z. lonicerae*, *Z. trifolii* und *Z. ephialtes*. Diese Arten häuten sich im April aus der Diapause. Erwachsene Raupen sind Anfang bis Mitte Juni am häufigsten. Im Alpenvorland bei Memmingen wurden beispielsweise halberwachsene Larven von *Z. trifolii* (Abb. 5) zusammen mit letzten Raupen und Präpupae von *Boloria eunomia* am 22. Mai 2001 gefunden. Frisch aus der Diapause gehäutete Raupen wurden um den 15. April beobachtet. Falter dieser Arten flogen besonders von Anfang Juli (*Z. viciae* teils schon Ende Juni) bis Mitte August.

Abb. 5: Raupe von *Zygaena trifolii*: Die Tiere können leicht mit *Z. filipendulae*, nicht aber mit *Z. lonicerae* verwechselt werden. Memmingen, Anfang Juni 2001.

3.4 Späte Arten

Zu den späten Arten sind im UG auf der Ostalb *Z. transalpina hippocrepidis* und besonders *Z. filipendulae* zu rechnen. Hier findet eine aktive Verzögerung der Flugzeit statt, indem die Diapause bei den meisten Individuen erst Ende April und im Mai beendet wird, wobei *Z. filipendulae* durchschnittlich später ist als *Z. transalpina*. Jungraupen fanden sich erst ab Mitte Mai bis Ende Juni in größerer Zahl, wenn *Z. carniolica*-Raupen bereits meist fast ausgewachsen waren. Die Hauptzeit verpuppungsreifer Raupen reichte von den letzten Junitagen bis Ende Juli, vor allem bei *Z. filipendulae* auch noch in den August. Nur sehr vereinzelt waren auch schon früher einzelne verpuppungsreife Raupen etwa im Juni anzutreffen, die mit den wenigen bereits im April beobachteten Tieren korrespondierten. Die Hauptflugzeit reichte von Mitte Juli bis Anfang (*Z. transalpina*) oder Ende (*Z. filipendulae*) September, wobei der letzte, frische *Z. filipendulae*-Falter noch am 14. Oktober 2000 gefunden wurde. Aktive Raupen vor der Überwinterung wurden bei dieser Art von Mitte September bis Ende Oktober beobachtet. Insgesamt wird somit ein Teil zu Beginn

der Vegetationsperiode inaktiv in Diapause zugebracht, das Erreichen der Diapause im Herbst aber durch die späte Flugzeit sehr nach hinten verschoben. Dazu kommt eine bei der ersten Überwinterung geringe Raupengröße, die eine längere Postdiapause-Entwicklung mit mehr Häutungen notwendig macht als etwa bei *Z. minos* oder *Z. loti*.

In Gebieten außerhalb des UG, so im Voralpenland, liegt bei diesen Arten allerdings teilweise eine abweichende Phänologie vor. So werden Raupen einer feuchte Kahlschläge bei Memmingen besiedelnden, transalpinoiden Population von *Z. transalpina* trotz kühlerem Mikro- und Mesoklima bereits Anfang April geschlossen aktiv und sind Ende Mai bis Juni ausgewachsen zu finden. Auch die Flugzeit liegt hier mit Ende Juni bis Anfang August um einen Monat früher.

Bei *Z. filipendulae* wurden auf einer wechselfeuchten Niedermoorfläche westlich des Ammersees überwinterte, aktive Raupen ab Ende März 2002 gefunden. Auch hier liegt die Zeit erwachsener Raupen sowie der Falter um über einen Monat früher als auf der östlichen Schwäbischen Alb. Dabei schienen die Raupen durchschnittlich leicht größer überwintert zu haben. Auch bei Memmingen wurden um 1990 zahlreich ausgewachsene Raupen in breiten Waldsäumen bereits Ende Mai beobachtet. Durch Entsaumung und Dunkelwaldwirtschaft sind diese Vorkommen heute erloschen.

3.5 *Zygaena exulans*

Die in Mitteleuropa nur im Alpenraum (fehlt in Deutschland) ab ca. 1700 m NN vorkommende Art (untersucht im Silvrettagebiet, Montafon und Wallis) weist als Raupe offenbar stets mindestens zwei Überwinterungen auf. Die Raupen werden sofort nach der Schneeschmelze aktiv, wie Funde an ausgeaperten Stellen im Silvrettagebiet zeigen. 2004 wurden im Mai bis August tausende (meist) Jungraupen im Wallis (Täschalpe) auf 2300–2500 m NN registriert. Ausgewachsene Raupen sind vor allem im Juni/Anfang Juli zu finden, Falter im Juli und August.

4 Larvalhabitate

Die linearen Korrelationen zwischen der Häufigkeit von neun Widderchenarten im UG und Umweltvariabeln zeigt Tabelle 2. Bei allen Arten ist der Flächenanspruch relativ gering, so dass auch auf Flächen von 0,5 ha noch fünf bis sieben *Zygaena*-Arten syntop angetroffen wurden. Von Bedeutung ist hier aber langfristig sicherlich ein Individuenaustausch mit im Umkreis von unter 1 bis maximal 3 km Entfernung (siehe auch Markierungs- und Wiederfangversuche, WAGNER 2002b) befindlichen Habitaten und deren Besiedelung als Metapopulation. Nur *Z. minos* hat meist etwas größere Flächenansprüche.

Waldnähe und Gehölzanteil spielen bei Magerrasenbewohnern meist keine direkte Rolle. Wenn signifikante Bindungen vorlagen, dann bei immer großer Spannweite. Somit sind in Waldnähe und bei höherem Gebüschanteil nur andere Faktoren statistisch häufiger gegeben (etwa Versaumungsgrad). Nur bei den Waldsaumarten *Z. lonicerae*, *Z. fausta* und besonders *Z. angelicae elegans* und *Z. osterodensis* muss ein stärkerer Einfluss konstatiert werden.

Tab. 2: Lineare Korrelationen (Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman r_s) zwischen Häufigkeit von Widderchen und Umweltvariablen (alle Teilflächen). Erläuterungen s. Kap. 2.4. Irrtumswahrscheinlichkeiten: $p > 0,05$ = nicht signifikant, n.s.; $p \leq 0,05$ = signifikant, *; $p \leq 0,01$ = sehr signifikant, **; $p \leq 0,001$ = höchst signifikant, ***.

***Zygaena*-Art**	**Umweltvariabeln**										
	Größe [ha]	**Exposition**	**steinig/ felsig**	**lückig**	**steil**	**waldnah**	**gehölzreich**	**beweidet**	**trocken**	**moosreich**	**mager**
Z. minos	0,2 n.s.	0,3 *	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,2 n.s.	0,3 *	0,0 n.s.	–0,1 n.s.	0,2 n.s.	0,3 *	0,0 n.s.
Z. ephialtes	0,2 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,0 n.s.	0,1 n.s.	–0,2 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	–0,1 n.s.
Z. lonicerae	0,1 n.s.	0,1 n.s.	–0,1 n.s.	0,0 n.s.	0,0 n.s.	0,3 *	0,1 n.s.	–0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,2 n.s.	–0,1 n.s.
Z. transalpina	–0,1 n.s.	0,2 n.s.	0,1 **	0,1 n.s.	0,2 n.s.	0,0 n.s.	–0,1 n.s.	–0,2 n.s.	0,2 n.s.	–0,1 n.s.	–0,1 n.s.
Z. carniolica	0,1 n.s.	0,5 *	0,2 n.s.	0,3 *	0,5 *	–0,1 n.s.	–0,2 n.s.	0,0	0,4 **	0,1 n.s.	0,1 n.s.
Z. viciae	0,0 n.s.	0,0 n.s.	0,2 n.s.	–0,1 n.s.	0,0 n.s.	0,6 ***	0,3 *	–0,5 ***	–0,1 n.s.	0,1 n.s.	–0,2 n.s.
Z. loti	0,1 n.s.	0,2 n.s.	–0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,4 **	0,3 *	-0,3 *	0,1 n.s.	0,2 n.s.	–0,2 n.s.
Z. purpuralis	0,2 n.s.	0,3 *	0,1 n.s.	0,2 n.s.	0,3 **.	0,3 *	0,1 n.s.	–0,2 n.s.	0,3 n.s.	0,2 n.s.	0,0 n.s.
Z. filipendulae	0,1 n.s.	0,4 ***	0,2 n.s.	0,2 n.s.	0,3 *	-0,2 n.s.	-0,1 n.s.	–0,1 n.s.	0,4 ***	0,4 ***	–0,1 n.s.

4.1 Xerotherme Offenlandarten mit geringer Standortsamplitude

Zu dieser Gruppe zählen *Z. minos* und *Z. carniolica* (Abb. 6). Stark von *Z. minos* besiedelte Habitate waren tendenziell größer, im Vergleich mit allen Gebieten vor allem aber signifikant süd- bis südwestexponiert mit geringer Spannweite (Tab. 2). Dazu waren sie nicht im ebenen Bereich, sondern am Hang gelegen. Weiterhin zeichneten sie sich durch Moosreichtum und tendenziell durch Trockenheit aus.

Abb. 6: Lebensraumtyp xerothermer, niedrigwüchsiger und steiler Magerrasen: unter anderem Habitat von *Zygaena minos* und *Z. purpuralis*. Nattheim (Kreis Heidenheim), 2001.

Bei *Z. carniolica* war ebenfalls die Süd- bis Südwestexposition bei sehr geringer Spannweite von großer Bedeutung. Dazu wurden sehr magere, moosreiche, intensiver beweidete und trockene Biotope mit stärkerer Hangneigung und oft (aber nicht notwendigerweise) auch Fels oder Gestein besiedelt (oft zum *Gentiano-Koelerietum* gehörig, aber auch *Xerobromion*-Fragmente etc.).

4.2 Xerotherme Offenlandarten (UG) mit insgesamt großer Amplitude

Hierunter fallen *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae*, die in fast allen Magerrasen des UG vorkommen. Individuenreiche Populationen wurden tendenziell in mageren, südexponierten, beweideten und moosreichen Flächen häufiger registriert (Tab. 2, Abb. 7), wobei aber eine große Spannweite mit Besiedelung aller Expositionen und Magerkeitsgrade festgestellt wurde. *Z. purpuralis* ist etwas stärker als *Z. filipendulae* von flachgründigen, lückigen Stellen abhängig (Nahrungspflanze Thymian!). *Z. filipendulae* kann

Abb. 7: Habitattyp stärker beweideter, xerothermer Magerrasenhang: Lebensraum von *Zygaena carniolica*, *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae*. Heidenheim-Schnaitheim (Kreis Heidenheim), Juni 2003.

(außerhalb des UG) fast alle extensiven Offenlandhabitate besiedeln, so auch Flachmoore und andere Feuchthabitate, während sich Nachweise von *Z. purpuralis* aus Feuchtbereichen wohl immer auf erhöhte, trockene Strukturen beziehen.

4.3 Xerotherme Saumarten

Hierunter sind *Z. loti*, *Z. ephialtes*, *Z. transalpina (hippocrepidis)*, *Z. angelicae* und *Z. fausta* anzuführen (Abb. 8). *Z. loti* weist dabei die größte ökologische Valenz auf und fehlte nur in sehr mageren und scharf beweideten Flächen ohne Säume. Optimal waren nur schwach beweidete Mosaike aus xerothermen versaumten Bereichen und mageren, niedrigwüchsigen Flächen mit viel *Hippocrepis comosa*, etwa in Steinbruchsukzessionen.

Die im UG seltene *Z. ephialtes* bevorzugte ebenfalls wenig beweidete Säume mit gewisser Xerothermie (oft *Geranion sanguinei*), wobei aber hauptsächlich die Nahrungspflanze *Coronilla varia* und ihre Verbissempfindlichkeit die Verbreitung begrenzte (s.u.). Nur ebene und mehr mesophile Bestände der Raupennahrungspflanze schienen aus klimatischen Gründen gemieden zu werden, ansonsten wurden auch Ackerränder außerhalb der Magerrasen besiedelt. Anderswo findet sich die Art etwa auch lokal im Voralpenland bei Memmingen an einem stillgelegten Bahndamm durch Feuchtwiesen, wo am erhöhten, trockenen Damm Raupen wenige Meter neben solchen von *Aricia eumedon*, *Boloria eunomia* (am feuchten Dammfuß) und *Brenthis ino* gefunden wurden.

Z. transalpina hippocrepidis hat ihren Schwerpunkt einerseits in kaum beweideten Beständen des *Geranion sanguinei* in der (im Frühjahr) wechselfeuchten Ausprägung mit *Anthericum ramosum*, *Aster amellus*, und *Buphthalmum salicifolium* sowie stellenweise auch *Asperula tinctoria*, solange noch genug *Hippocrepis comosa* vorkommt. Zum anderen

Abb. 8: Flächiger Hirschwurz-Saum mit aspektbildendem *Anthericum ramosum*, Lebensraum von *Zygaena transalpina* und *Z. ephialtes*. Heidenheim-Mergelstetten (Kreis Heidenheim), Juli 1998.

kommt die Art auch in oft mergeligen, mäßig beweideten und stärker mageren Beständen mit Anklang ans *Xerobromion* (mit *Globularia elongata*, *Teucrium montanum* etc.) vor. Gemieden werden ebene und nordexponierte Lagen. Viele Bestände waren waldnah gelegen, was aber ein sekundärer Faktor sein dürfte (s.o.).

Zygaena angelicae besiedelt in ihrer Unterart *Z. a. elegans* auf der Schwäbischen Alb xerotherme Waldsäume und sonnendurchflutete Verlichtungsstellen im Wald mit *Coronilla coronata* und ist heute fast völlig auf kleinflächig „natürlich" waldfreie Stellen etwa am Rand von Felshalden angewiesen (HOFMANN 1994). Die Exposition spielt eine große Rolle, so dass fast nur Süd- bis Südwestlagen besiedelt werden. Andere Populationen von *Z. angelicae* (etwa in Nordbayern) besiedeln auch mehr offene, versaumte Magerrasen mit *Coronilla varia* (WEIDEMANN & KÖHLER 1996).

Zygaena fausta hat ähnliche Ansprüche wie *Z. a. elegans*, findet sich aber zudem auch oft in etwas offeneren Bereichen (ewa am Magerrasenrand zum Wald). Dies gilt besonders für Populationen außerhalb des UG, etwa in völlig offenen Felssteppen der Valle di Susa (an *Coronilla minima*). In geringer Dichte können sogar etwas ungünstigere Expositionen besiedelt werden.

4.4 Mesophile Saumarten

Zu dieser Gruppe zählen *Z. viciae*, *Z. lonicerae* und *Z. osterodensis*. *Zygaena viciae* besiedelt signifikant ebene, wenig beweidete und mesophile Bestände des *Trifolion medii* (Abb. 9) und kann hier sehr abundant auftreten. Die Art fehlt andererseits scharf beweideten, xerothermen und sehr mageren Flächen ohne Säume. Außerhalb des UG werden auch

Abb. 9: Mesophile, ebene und schwach beweidete Heide, Lebensraum unter anderem von *Zygaena viciae*. Steinheim (Kreis Heidenheim), Juli 2000.

Flachmoorwiesen besiedelt (HOFMANN 1994, WEIDEMANN & KÖHLER 1996, SBN 1997, eig. Beob.).

Z. lonicerae ist im UG nur individuenschwach vertreten und besiedelt hier ähnliche Lebensräume wie *Z. viciae*, die aber oft etwas xerothermer sind. Auf eine nur individuenschwache Besiedelung von mehr oder weniger offenen Magerrasen deuten auch die Ergebnisse von KREUSEL & BÖHMER (1998) und SMOLIS & GERKEN (1987). Optimalhabitate der Art liegen mehr in breiten Waldsäumen etwa in Mittel- und Niederwäldern (Steigerwald) oder Schneeheide-Kiefernwäldern (Nordalpen), wo durchaus hohe Raupenabundanzen beobachtet werden können. Sehr häufig begegneten mir Raupen der Art auch in Mosaiken aus beweideten und brachliegenden Magerrasen, Hecken und luftfeuchten Eschenriegeln mit hohen Abundanzen von *Hamearis lucina* in 1200 m NN in der Valle di Susa.

Z. osterodensis besiedelt meist mesophile Säume in thermophilen Wäldern, besonders in Mittelwäldern wie dem Steigerwald. Hier sind Raupen oft an der besonnten und eher mageren, nur schwach verfilzten Grenze Lichtung/breiter Wegsaum zu Eichenwäldern zu finden sowie auch innerhalb der lichten Stellen. Tagsüber ruhten die Raupen meist am Boden an der Basis der Futterpflanzenstängel (*Lathyrus linifolius*, *L. pratensis*, *L. niger*, *Vicia villosa*), in vorjährigem Gras oder unter trockenen Eichenblättern. Einige Raupen wurden aber auch fressaktiv angetroffen.

4.5 Hygrophile Art

Z. trifolii findet sich im Voralpenland in Flachmoorwiesen mit *Lotus pedunculatus* (= *L. uliginosus*). Meist sind als Begleitarten *Boloria eunomia* und *Brenthis ino* vorhanden.

Z. trifolii weist die geringsten Flächenansprüche aller einheimischen Zygaenen auf und kommt beispielsweise bei Memmingen (noch) in einer isolierten, nur um 400 m^2 großen Fläche mit *Carex brizoides*, *Peucedanum palustre*, *Potentilla palustre*, *Sphagnum palustre*, und *Boloria eunomia* vor. Mesophile Waldsäume werden im Gegensatz zu *Z. lonicerae* nicht besiedelt. In Norddeutschland soll die Art aber auch in Magerrasen vorkommen.

4.6 Hochgebirgsart

Z. exulans besiedelt alpine Matten, die sich meist durch hohen Skelettanteil und niedrige Vegetation auszeichnen. Hochstaudenfluren werden nicht von Larven besiedelt, stellenweise aber lichtes, niedriges Weidengestrüpp, etwa an Bachrändern wie auf der Täschalpe in 2300 m NN. Am günstigsten sind Flächen, wo die schwarzen Raupen dem dunklen, besonnten Untergrund beim Fressen frei aufliegen können (warmes Mikroklima). Kokons sind oft an Steinen, aber auch an niedrigem Wacholder oder Weiden angesponnen. Sehr häufig ist die Art meist in xerothermen Gebieten mit wenig Niederschlag wie im Wallis. Die hohen Niederschläge im Nordalpenraum dürften die relative Seltenheit bzw. das Fehlen (Allgäu) mit bedingen.

5 Ressourcenangebot und Nutzung

5.1 Raupennahrungspflanzen

Das Larvalnahrungsspektrum der neun im Kreis Heidenheim untersuchten Arten zeigt Tabelle 3. Interessanterweise scheinen *Z. loti* und *Z. transalpina hippocrepidis Lotus corniculatus* nicht als Freilandnahrung zu nutzen. Transalpinoide Populationen (vgl. zu den *Z. transalpina*-Stämmen HILLE 1994) von *Z. transalpina* nutzen bei Memmingen auf feuchten Kahlschlägen aber sogar ausschließlich *Lotus pedunculatus*. Somit sind lokal unterschiedliche Spektren ausgebildet.

Die nicht in der Tabelle aufgeführten Arten nutzen folgende Nahrungspflanzen (in Klammern): *Zygaena fausta* (*Coronilla coronata* und anderswo auch weitere hartblättrige *Coronilla*-Arten, in der Valle di Susa beispielsweise *C. minima*), *Zygaena angelicae elegans* (*C. coronata* und *C. varia*), *Z. osterodensis* (*Lathyrus pratensis*, *Lathyrus niger*, *Lathyrus linifolius* [= *L. montanus*], *Vicia villosa*), *Z. trifolii* (*Lotus* spp., meist *L. pedunculatus*) und *Z. exulans* (polyphag, meist aber *Lotus alpinus*, weitere Fabaceen, *Salix* spp. und *Helianthemum* spp.). *Z. osterodensis* nutzte dabei im untersuchten Steigerwald-Habitat vor allem *Lathyrus linifolius* und *L. pratensis*, wenn auch an den anderen genannten Arten mehrfach Raupen gefunden wurden.

Bei den neun in der Tabelle 3 angeführten Arten ergab die Korrelation von Widderchenvorkommen mit dem der Raupennahrungspflanze folgende Ergebnisse (genaue Werte siehe WAGNER 2003b). *Thymus pulegioides*, *Pimpinella saxifraga* und *Lotus corniculatus* waren in allen Magerrasen – meist häufig – vorhanden. Ebenso häufig waren *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* (Nutzung nach dem Angebot, geringer Einfluss weiterer Faktoren). Deutlich lokaler und somit nicht an allen Vorkommen der Nahrungspflanze fanden sich *Z. viciae* und vor allem *Z. carniolica*, *Z. minos* und *Z. lonicerae*. Ihre Vorkommen müssen somit stärker von anderen Faktoren (Mikroklima, Beweidung etc.) beeinflusst sein.

Tab. 3: Festgestellte Freiland-Raupennahrungspflanzen der neun Widderchenarten im Untersuchungsgebiet auf der östlichen Schwäbischen Alb. Arten/Gattungen großer Bedeutung (viele Nachweise) sind mit XX bezeichnet, möglicherweise schwach genutzte ohne bisherige Nachweise mit X? und bei Vorkommen regelmäßig genutzte, aber nur in geringer Zahl nachgewiesene bzw. wegen ihrer Seltenheit nicht allein ausschlaggebende Arten mit X. Aus der Literatur (HOFMANN 1994, KEIL 1993, WEIDEMANN 1996) bekannte und mit großer Wahrscheinlichkeit auch im Untersuchungsgebiet genutzte Arten ohne bisherige Nachweise sind in Klammern gesetzt.

Wirtspflanze	Widderchenart								
	Z. minos	*Z. filipendulae*	*Z. lonicerae*	*Z. transalpina*	*Z. carniolica*	*Z. purpuralis*	*Z. loti*	*Z. viciae*	*Z. ephialtes*
Pimpinella saxifraga	XX	.	.	.	.	.	.	.	.
Hippocrepis comosa	.	.	.	XX	.	.	XX	.	.
Lotus corniculatus	.	XX	X	X?	XX		X?	XX	.
Thymus spp.	.	.	.	.	.	XX	.	.	.
Coronilla varia	.	.	.	X	.	.	XX	.	XX
Onobrychis viciifolia	.	.	(X)	.	X	.	X	X	.
Trifolium spp.	.	.	X	.	.	.	.	X	.
Lathyrus pratensis	.	.	(X)	.	.	.	.	XX	.
Vicia spp.	.	.	(X)	.	.	.	.	XX	.

Deutliche Korrelationen bestehen zwischen dem nur lokalen Auftreten von Nahrungspflanzen (*Coronilla varia* und *Hippocrepis comosa*) und dem der Widderchenarten *Z. ephialtes* und *Z. transalpina* (WAGNER 2003b). Hier kommt neben Faktoren wie dem Mikroklima besonders der Verbreitung der Raupennahrung eine wichtige limitierende Bedeutung bei der Widderchenverbreitung zu.

5.2 Nektarpflanzen

5.2.1 Blühphänologie

Die wichtigsten widderchentypischen Nektarpflanzen begannen erst ab Anfang Juni zu blühen (frühe Arten: *Dianthus carthusianorum*, *Echium vulgare*, *Knautia arvensis*). Diese frühen Arten blühten vor allem bis Ende Juli und nur in geringerer Abundanz noch später. Mittelspäte Pflanzenarten mit Schwerpunkt im Juli bis Mitte August waren *Origanum vulgare* und die Disteln der Gattung *Carduus* und *Cirsium*. Späte Arten waren schließlich *Centaurea jacea* und vor allem *Scabiosa columbaria*, die in vielen Gebieten Ende Juli bis Anfang/Mitte September eine Massenblüte hatte.

In den meisten Gebieten mit mehreren vorkommenden *Zygaena*-Arten war die Widderchenphänologie gut in die Blühphänologie eingepasst (Abb. 2). Die meisten Individuen flogen zur Zeit der größten Blütendichte ab etwa 15. Juli bis Ende August. Nur in Gebieten, in denen einige spät fliegende Arten (*Z. filipendulae* und *Z. transalpina*) zahlenmäßig stark vorherrschten wie am Wartberg, scheint die Widderchenzahl im Vergleich zur Blütendichte phänologisch nach hinten verschoben zu sein. Dies ist jedoch als methodischer Artefakt zu werten, da die dortige Massenblüte der Tauben-Skabiose methodisch bedingt maximal nur mit dem Faktor 4 bewertet werden konnte.

In Gebieten mit etwas stärkeren Populationen der früh fliegenden Art *Z. minos* waren beispielsweise im Vergleich zu allen Gebieten immer relativ viele früh blühende Arten vorhanden.

Insgesamt herrschte auf den Magerrasen eine vergleichsweise späte Blütezeit der relevanten Arten. In den Habitaten (feuchte Kahlschläge) der *Z. transalpina*-Vorkommen bei Memmingen hingegen war die Blütezeit der dortigen Hauptart *Cirsium palustre* mit Ende Juni bis Anfang August nicht nur etwas früher als das Blühmaximum bei Heidenheim, sondern die Widderchen waren auch ganz genau darin eingepasst. Früher und auch deutlich später waren in den Biotopen kaum mehr Nektarpflanzen vorhanden. Eine ähnlich frühere Blütezeit lässt sich für Feuchtwiesen am Alpenrand mit *Z. filipendulae* feststellen, wo nach Anfang bis Mitte August nur mehr wenige widderchentypische Pflanzen blühen (nur stellenweise vor allem ab September *Succisa pratensis*).

5.2.2 Nektarpflanzenspektrum

Das Nektarpflanzenspektrum zeigt, dass blaue und violette Blüten der Gattungen *Carduus*, *Centaurea*, *Cirsium*, *Echium*, *Knautia*, *Origanum* und *Scabiosa* als widderchentypisch gelten können (vgl. TARMANN 1975, STEFFNY 1982, TREMEWAN 1985, AISTLEITNER 1990, HOFMANN 1994, KREUSEL & BÖHMER 1998, NAUMANN et al. 1999). Dabei waren innerhalb dieser Gruppe die Arten mehr oder weniger austauschbar und die Nutzung (Tab. 4) erfolgte je nach Übereinstimmung der Phänologien. So besuchten spät fliegende Arten naturgemäß vermehrt die Skabiose. Als sehr stenanth erwiesen sich *Z. carniolica*, *Z. minos* und *Z. transalpina*. Nur euryanthere Arten (vor allem *Z. loti* und *Z. filipendulae*) besuchten in stärkerem Umfang auch widderchenuntypische Pflanzen etwa mit gelber oder weißer Färbung. Dazu gehören auch Arten mit Habitaten, in denen blauviolette Pflanzen zur Flugzeit selten sind, so *Z. osterodensis*, die gerne den weißen Liguster besucht, oder teils auch *Z. trifolii*, die an *Lotus pedunculatus* beobachtet wurde, wenn kein *Cirsium palustre* verfügbar war. Auch *Z. exulans* nutzt in vielen Biotopen gelbe Arten, vor allem Asteraceen und Fabaceen.

Tab. 4: Nektarpflanzenspektrum einiger *Zygaena*-Arten im Kreis Heidenheim. Bei spät fliegenden Arten wird die Skabiose (*Scabiosa columbaria*) immer wichtiger.

Pflanzenart	***Zygaena*-Art**			
	Z. minos	***Z. purpuralis***	***Z. transalpina***	***Z. filipendulae***
Carduus spp. et *Cirsium* spp.	.	2	.	18
Centaurea jacea	.	3	19	14
Dianthus carthusianorum	25	4	.	.
Echium vulgare	23	.	.	.
Knautia arvensis	43	12	4	11
Origanum vulgare	.	38	2	12
Scabiosa columbaria	.	36	71	41
Sonstige	9	5	4	8
Summe	447	4.189	1.598	9.557

6 Diskussion

6.1 Korrelation von Larvalhabitat, Phänologie und Ressourcen

Innerhalb der oft sechs bis acht sympatrisch auf demselben Magerrasen vorkommenden Arten der Gattung *Zygaena* liegt im UG im Kreis Heidenheim eine Einnischung in mehreren Ebenen vor, und zwar phänologisch, räumlich über Larvalhabitate und nahrungsbiologisch über Raupennährpflanzen (WAGNER 1999, 2002b, 2003a, b). Phänologisch gleichzeitig auftretende Arten haben meist unterschiedliche Raupennährpflanzen und meist auch Larvalhabitate. So sind ausgewachsene Raupen von *Z. carniolica* hauptsächlich etwa drei bis vier Wochen vor denen von *Z. filipendulae* an denselben Stellen an *Lotus corniculatus* zu finden.

Zu dieser Einnischung kommt zusätzlich die phänologische Selektion durch die Blühfolge der wichtigsten Nektarpflanzen. Nektarpflanzen sind für Widderchen langfristig sehr wichtig für die Populationsdynamik (Lebensdauer, Nachreifen von Eiern, Habitatakzeptanz), so dass zwar Populationen in blütenarmen bzw. nur mit suboptimalen Arten bestandenen Gebieten bei optimalem Larvalhabitat existieren können, diese aber sehr individuenschwach sind. So ist es erklärlich, dass Widderchenabundanzen und Blühmaxima zu einem hohen Grad übereinstimmen. Interessant ist, dass Inhaltsstoffe der bevorzugten Dipsacaceae (*Knautia*, *Scabiosa*) offensichtlich den männlichen Sexualpheromonen der Zygaenen (untersucht bei *Z. trifolii*) ähnlich sind (OCKENFELS et al. 1990, NAUMAN et al. 1991).

Wichtig ist hierbei der Aspekt, dass Arten, die nicht die gesamte Vegetationsperiode zur Ausbildung ihrer Generation benötigen und einen Teil dieser inaktiv in Diapause zubringen, ihre Phänologie „aktiv", d.h. durch Selektion, jahreszeitlich nach hinten verlagert haben. So werden *Z. filipendulae*-Raupen erst im Mai – bei großer Streuung – in nennenswerter Zahl aktiv und verhindern so ein Erscheinen der Hauptmasse der Falter zu Zeiten (Juni), zu denen noch zu geringe Nektarpflanzendichten für die oft sehr hohe Populationsdichte herrschen. In der anderen Richtung wirkt die Zeit begrenzend, die die Jungraupen bis zur Diapause benötigen. Schon allein die Eientwicklung kann ab September mehrere Wochen benötigen, so dass wohl nicht mehr alle *Z. filipendulae*-Raupen in jedem Jahr die Diapause erreichen dürften. Insgesamt kommt somit eine späte, aber auch sehr lange Flugzeit (Vermeidung intraspezifischer Konkurrenz?) zustande.

In anderen Gebieten mit abweichender Blühphänologie werden die Raupen – wie auch bei *Z. transalpina* (WAGNER 2002a) – teils deutlich früher aktiv (vgl. auch CRISPIN & WARRINGTON 1997, TREMEWAN 1998). Außer der Blühphänologie sind sicher auch weitere Faktoren für regionale Einnischung denkbar, etwa Mahdrhytmen (AISTLEITNER 1990, 1998). Zu den Ergebnissen gut passende Mechanismen zur Diapauseregulierung bei Zygaenen sind von WIPKING (1988, 1990, 1995, 2000) exemplarisch an *Z. trifolii* geklärt worden.

Arten, die eine frühe Entwicklung haben wie *Z. minos*, sind an vielen Standorten nicht sehr abundant. Wenn doch, dann fallen diese durch eine erhöhte Dichte früh blühender Arten auf (*Dianthus carthusianorum*, *Echium vulgare*, *Knautia arvense*). Die Ursache für die frühe Phänologie könnte bei dieser Art in einer Vermeidung „prägamer Verwirrung" zu suchen sein. Da an den Standorten immer, meist sogar viel abundanter, *Z. purpuralis* auftritt, dürften die sich bei der Partnerfindung chemisch und optisch orientierenden Männchen (vgl. NAUMANN 1988, HEINE & NAUMANN 1993 zu *Z. trifolii*) bei völlig synphänem Auftreten schwer tun, ein arteigenes Weibchen zu finden, bzw. dürfte die Zahl der Fehlkopulae stark ansteigen.

Daneben gibt es Arten, die zumindest im Mittelgebirgsraum (Schwäbische Alb) die gesamte Vegetationsperiode zur Ausbildung ihrer Generation benötigen wie vor allem

Z. carniolica. Diese sind bei uns viel weniger flexibel, wenn auch eine variable Überwinterungsgröße eine teilweise Anpassung etwa an andere Nektarpflanzenphänologien zulassen dürfte. Dahingehend kann wohl die etwas frühere Flugzeit etwa am Kaiserstuhl (HOFMANN 1994) oder im Diemeltal (FARTMANN 2004, hier Hauptflugzeit in der ersten Julihälfte) interpretiert werden.

Die Entwicklungsdauer wirkt sich auch auf die besiedelbaren Habitate aus. So weisen besonders euryökere Arten wie *Z. loti*, *Z. filipendulae* und auch *Z. viciae* eine relativ kurze Entwicklungszeit mit an warmen Orten inaktiver Reserve auf, die dann auch zur Besiedelung mikroklimatisch ungünstigerer Lagen wie Nordhängen ausgenutzt werden kann. Arten wie *Z. carniolica*, die eine langsame Entwicklung aufweisen, sind hingegen wesentlich stärker auf hängige Süd- bis Südwestlagen angewiesen. Dabei spielen sicher auch zu einem gewissen, in der Bedeutung allerdings etwas überschätzten Grad physiologische Anpassungen eine Rolle (WIPKING 1985). *Zygaena minos* (kürzere Entwicklungszeit) ist im UG ebenfalls als sehr xerotherme Art einzustufen, die ihre Entwicklung wohl nur in solchen Lagen vor *Z. purpuralis* abschließen kann.

Bei ungünstigem Mikroklima wäre als Möglichkeit für Arten mit langsamer Entwicklung eine mehrfache Raupenüberwinterung als Strategie denkbar. Eine solche tritt nach den Raupenfunden im Frühjahr (teils zwei Größenklassen) auch bei *Z. filipendulae* in Feuchtbiotopen am Alpenrand in etwas stärkerem Umfang auf. Ebenso wie bei *Z. transalpina* (hier im April meist sicher erst einmal überwinterte Raupen von 2002–2005 bei Memmingen beobachtet) ist dies nicht die Hauptursache für das frühe Erscheinen. In erster Linie wird dies durch einen allgemein früheren Aktivitätsbeginn im Frühjahr und leicht größere Überwinterungsstadien ausgelöst. Die größeren Überwinterungsstadien resultieren aus der frühen Eiablagezeit solcher Populationen. Dazu gehen die Raupen insgesamt etwas früher in Diapause, was mit eine Voraussetzung für eine frühe Beendigung derselben sein dürfte. Parallelen finden sich auch in anderen Verwandtschaftskreisen (z.B. *Pyrgus* spp.). Die potenzielle repetitive Überwinterung stellt mehr ein Mittel zum Überleben einzelner schlechter Jahre dar und wäre als normaler Entwicklungszyklus im Tiefland bei langer Vegetationsperiode – noch dazu in xerothermen Biotopen wie im UG – nur eine suboptimale Strategie, u.a. was den Fortpflanzungserfolg angeht.

Viele Arten der Waldsäume, so vor allem *Z. osterodensis* und *Z. angelicae elegans*, weisen eine recht frühe Flugzeit im Juni bis Mitte Juli auf, für die neben anderen Ursachen auch Nektarphänologien (Ligusterblüte!) eine Rolle spielen dürften. Interessanterweise gibt es in solchen Biotopen keine sehr spät fliegenden Arten (wenn nicht Magerrasen mit etwa *Z. transalpina* anschließen), d.h. nach Mitte August sind diese meist frei von Widderchenimagines.

6.2 Schutz- und Pflegemaßnahmen

Die Schutzmöglichkeiten für Widderchen stellen sich je nach den Habitatansprüchen unterschiedlich schwierig dar. Relativ leicht sind dank ihrer recht geringen Flächenansprüche Bewohner offener Magerrasen zu „managen". So ist eine Beweidung in Wanderschäferei (keine Koppelhaltung) und gelegentliche Entbuschung sicher die beste Methode. Besonders bei großflächigeren Habitaten ab einigen Hektar ist eine auch intensivere Beweidung nicht schädlich, da sie das Habitat erhält. Sicher sind bei Beweidung geringere Individuendichten zu verzeichnen als einige Jahre nach Aufgabe dieser. Wenn aber die für Arten wie *Z. carniolica* oder *Z. minos* (beide beste Indikatoren für hochwertige, xerotherme Standorte) notwendigen niedrigwüchsigen, lückigen Bereiche zuwachsen, brechen die Bestände rasch zusammen. In großflächigen Habitaten sind auch immer irgendwo schwächer beweidete Säume vorhanden, die etwa *Z. ephialtes* als Habitat dienen

können. Bei sehr kleinflächigen Habitaten ist jedoch nur eine geringe Beweidungsintensität (niemals Koppelhaltung) wünschenswert, da sonst das Aussterberisiko stark erhöht ist. Hier sind nur eine regelmäßige Entbuschung und eventuell Entfilzungsmaßnahmen möglich, da sich eine extensive Beweidung für den Schäfer kaum lohnt. Bei ausreichender Pflege durch Beweidung sollten für die einheimischen Magerrasen-Widderchen im Gegensatz zu noch empfindlicheren Gruppen (*Chazara briseis*, *Pyrgus* spp.) auch bei den gegenwärtigen Bedingungen (hohe luftgetragene Eutrophierung) zumindest mittelfristig ausreichende Bedingungen zu gewährleisten sein. Wichtig ist zudem ein relativ enges Habitatnetz von Magerrasen in maximal zwei bis drei Kilometer Entfernung, die den Individuenaustausch fördern. Leider gehen kleine Magerrasen heute noch viel zu schnell verloren (vor allem durch Sukzession). Dem kann auf in Privatbesitz befindlichen Flächen gegen den Willen des Besitzers nach bisheriger Gesetzeslage selbst in wertvollem Gelände nicht begegnet werden. Wirklich wertvolle Magerrasen neu als so genannten Habitatverbund anzulegen, ist meiner Meinung nach in überschaubaren Zeiträumen nicht möglich.

Bei der Pflege ist vor allem auf früh fliegende, stenöke Arten wie *Z. minos* Rücksicht zu nehmen, bei denen zumindest kurz vor und während der ersten Hälfte der Flugzeit keine zu intensive, sämtliche Nektarpflanzen erfassende Beweidung erfolgen sollte.

In Magerrasen-Biotopen, in denen vor allem Saumbewohner (*Z. transalpina*, *Z. ephialtes* etc.) vorkommen, darf nur sparsam und am besten extensiv im Mai/Anfang Juni (bei *Z. ephialtes* noch weniger intensiv) und dann erst wieder ab Anfang September (jetzt intensiver) beweidet werden.

Wesentlich schwieriger und aufwändiger sieht die Situation für stenöke Waldsaumbewohner aus, besonders für *Z. angelicae elegans*, *Z. fausta* und *Z. osterodensis*. Die Entsaumung der Wälder durch Eutrophierung aus der Luft (Stickstoff, aber auch CO_2, das zu schnellerem Pflanzenwachstum führt), Änderungen im Grundwasserregime (Trinkwasserentnahmen, Flussausbau etc.) und vor allem durch Aufgabe traditioneller Waldbewirtschaftungsformen und nachfolgende Dunkelwaldwirtschaft haben die Überlebensmöglichkeiten derart eingeschränkt, dass ohne permanentes, fachgerechtes Management ein Aussterben recht schnell erfolgen könnte. Für *Z. osterodensis* besteht das Management vor allem in der Simulation einer dynamischen Nieder- oder Mittelwaldwirtschaft der besiedelten Wälder. Zumindest sollten immer ausreichend breite, magere Säume an Waldwegen und auf Kahlschlägen vorhanden sein. „Naturnahe" Plenterwirtschaft im Dunkelwald würde der Art schnell ein Ende bereiten. Bei den weniger dynamischen Arten *Z. fausta* und *Z. angelicae elegans*, die wie *Coronilla coronata* auf vergleichsweise statischere Habitate angewiesen sind, bleibt in der heutigen Landschaft nur ein ständiges, fachgerechtes Auslichten der Habitate, um für Pflanze und Falter optimale Bedingungen zu erhalten. Inwieweit Isolationseffekte nach Jahrzehnten wirken, muss abgewartet werden. Jedenfalls sind außer Erhaltungsmaßnahmen langfristig auch solche zur Biotopausweitung in vielen Fällen unbedingt notwendig, um größere Individuenzahlen zu erreichen.

Die Feuchtgebietsart *Z. trifolii* ist am besten über eine Herbstmahd der Feuchtwiesen ab Ende September zu schützen, wobei auf relativ mageren, moorigen Flächen eine Mahd nicht jedes Jahr notwendig ist bzw. alternierend erfolgen kann. *Z. trifolii* hält sich auch relativ lange in Brachflächen. Ihre Fähigkeit, kleinste Habitate zu besiedeln, lässt einen anzustrebenden Biotopverbund aussichtsreicher erscheinen. Allerdings werden solche Kleinbiotope auch heute noch oft entwässert, mit Nadelbäumen aufgeforstet, als billige Fläche für Aktivitäten von uninformierten Naturschutzgruppen missbraucht (Gehölzanpflanzungen für Vögel oder Tümpel Libellen und Amphibien), von Neophyten überwuchert (*Solidago* spp.) oder umgebrochen.

Lediglich bei *Z. exulans* sind in Mitteleuropa meist noch keine Maßnahmen nötig, da sich ihre natürlichen, hochgelegenen Habitate zumindest teilweise noch allzu großem menschlichen Einfluss entziehen, wenn man von punktuellen Beeinträchtigungen durch den immer stärker überhand nehmenden Tourismus absieht.

7 Literatur

AISTLEITNER, E. (1990): Die Widderchen oder Blutströpfchen Vorarlbergs (Lepidoptera, Zygaenidae). – Zeitschrift der Arbeitsgemeinschaft österreichischer Entomologen **42** (3–4): 77–92.

AISTLEITNER, E. (1998): Die Schmetterlinge Vorarlbergs 1. – Vorarlberger Naturschau **5**: 1–390.

CRISPIN, M.J. & S. WARRINGTON (1997): Aspects of the population ecology of *Zygaena filipendulae* (Linnaeus) (Lepidoptera, Zygaenidae). – Entomologist's Gazette **48**: 97–105.

FARTMANN, T. (2004): Die Schmetterlingsgemeinschaften der Halbtrockenrasenkomplexe des Diemeltales. – Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde **66** (1): 1–256.

HOFMANN, A. (1994): Zygaeninae. In: EBERT, G. (1994) (Hrsg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 3. Nachtfalter I. – Ulmer, Stuttgart: 196–335.

HEINE, S. & C. M. NAUMANN (1993): Sexuelle Selektion und die Evolution tageszeitlich variierender Partnerfindungsmechanismen bei *Zygaena trifolii* (Esper 1783) (Insecta, Lepidoptera). – Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie **8**: 649–658.

HILLE, A. (1994): Enzymelektrophoretische Untersuchung zur genetischen Populationsstruktur und geographischen Variation im *Zygaena-transalpina*-Superspezies-Komplex (Insecta Lepidoptera Zygaenidae). – Bonner zoologische Monographien **37**: 1–194.

KEIL, T. (1993): Beiträge zur Insektenfauna Ostdeutschlands: Lepidoptera – Zygaenidae. – Entomologische Nachrichten und Berichte **37** (3): 145–198.

KREUSEL, B. & J. BÖHMER (1998): Populationsökologische Untersuchungen an Widderchenpopulationen der Schwäbischen Alb bei Blaubeuren (Lepidoptera, Zygaenidae). – Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo **18** (4): 341–372.

NAUMANN, C. M. (1988): Zur Evolution und adaptiven Bedeutung zweier unterschiedlicher Partnerfindungsstrategien bei *Zygaena trifolii* (Esper 1783) (Insecta, Lepidoptera). – Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft **81**: 257–258.

NAUMANN, C. M., OCKENFELS, P., SCHMITZ, J., SCHMIDT, F. & W. FRANCKE (1991): Reactions of *Zygaena* moths to volatile compounds of *Knautia arvensis* (Lepidoptera, Zygaenidae). – Entomologia Generalis **15**: 255–264.

NAUMANN, C. M., TARMANN, G. M. & W. G. TREMEWAN (1999): The western palaearctic Zygaenidae. Apollo books, Stenstrup.

OCKENFELS, P., NAUMANN, C. M., SCHMITZ, J., SCHMIDT, F. & W. FRANCKE (1990): Antennale Reaktionen von *Zygaena trifolii* (Lepidoptera, Zygaenidae) auf Blüteninhaltsstoffe von *Knautia arvensis*. – Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft **83**: 424.

POLLARD, E. (1977): A method for assessing changes in the abundance of butterflies. – Biological Conservation **12**: 115–134.

PRINZ, H.-P. & C. M. NAUMANN (1988): Optische Parameter bei der Partnerfindung von *Zygaena trifolii* (Esper 1783) (Insecta, Lepidoptera). – Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft **81**: 258.

SBN – SCHWEIZERISCHER BUND FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (1997): Schmetterlinge und ihre Lebensräume – Arten, Gefährdung, Schutz. – Fotorotar AG, Egg/ZH.

SMOLIS, M. & B. GERKEN (1987): Zur Frage der Populationsgröße und der intrapopularen Mobilität von tagfliegenden Schmetterlingen, untersucht am Beispiel der Zygaenidenarten (Lepidoptera, Zygaenidae) eines Halbtrockenrasens. – Decheniana **140**: 102–117.

STEFFNY, H. (1982): Biotopansprüche, Biotopbindung und Populationsstudien an tagfliegenden Schmetterlingen am Schönberg bei Freiburg. – Dipl.-Arb. Inst. f. Biologie I, Univ. Freiburg.

TARMANN, G. (1975): Die Zygaeniden Nordtirols (Insecta, Lepidoptera). – Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum **55**: 113–251.

THOMAS, J. A. (1983): A quick method for estimating butterfly numbers during surveys. – Biological Conservation **27**: 195–211.

TREMEWAN, W. G. (1985): Zygaenidae. In: HEATH J. & A. M. EMMET (eds.): The moth and butterflies of Great Britain and Ireland 2. Colchester.

TREMEWAN, W. G. (1998): Notes on the biology and phenology of *Zygaena* (*Zygaena*) *filipendulae* (Linnaeus 1758) and *Z.* (*Z.*) *trifolii* (Esper 1783) (Lepidoptera Zygaenidae) in Cornwall. – Entomologist's Gazette **49**: 91–97.

WAGNER, W. (1999): Biozönologische Untersuchungen an sieben Halbtrockenrasenkomplexen im Raum Heidenheim (Baden-Württemberg). Dipl.-Arb. Abt. f. systematische Botanik und Ökologie, Univ. Ulm.

WAGNER, W. (2002a): Notizen zur Ökologie einer Population von *Zygaena transalpina* (Esper 1803) im Feuchtbereich (Lepidoptera Zygaenidae). – Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo **22**: 193–196.

WAGNER, W. (2002b): Einnischungsmechanismen bei Rotwidderchen (Lepidoptera, Zygaenidae) auf Kalkmagerrasen der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg). Diss. Abt. f. experimentelle Ökologie, Univ. Ulm.

WAGNER, W. (2003a): Mechanismen der phänologischen und räumlichen Einnischung bei Rotwidderchen (Lepidoptera, Zygaenidae) auf Kalkmagerrasen der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg). – Entomologische Zeitschrift **113** (7): 194–209.

WAGNER, W. (2003b): Ressourcenverfügbarkeit als Ursache phänologischer Einnischung bei Rotwidderchen (Lepidoptera: Zygaenidae) auf Magerrasen der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg). – Entomologische Zeitschrift **113** (8): 226–238.

WEIDEMANN, H.-J. & J. KÖHLER (1996) Nachtfalter. Spinner und Schwärmer. – Naturbuch-Verlag, Augsburg.

WIPKING, W. (1985): Ökologische Untersuchungen über die Habitatbindung der Zygaenidae (Insecta Lepidoptera). – Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft **74**: 37–59.

WIPKING, W. (1988): Repeated larval diapause and diapause-free development in geographic strains of the burnet moth *Zygaena trifolii* Esp. (Insecta Lepidoptera). – Oecologia **77**: 557–564.

WIPKING, W. (1990): Facultative and obligatory diapause responses in three species of burnet moth: a characterization of life-cycle phenologies by field observations and laboratory experiments. In: GILBERT, F. (ed.): Genetics, evolution and coordination of insect life cycles. – Springer, Berlin Heidelberg New York: 229–241.

WIPKING, W. (1995): Influences of day length and temperature on the period of diapause and its ending process in dormant larvae of burnet moths (Lepidoptera, Zygaenidae). – Oecologia **102**: 202–210.

WIPKING, W. & J. KURTZ (2000): Genetic variability in the diapause response of the burnet moth *Zygaena trifolii* (Lepidoptera, Zygaenidae). – Journal of Insect Physiology **46**: 127–134.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Wolfgang Wagner
Anton-Hohl-Str. 21a
87758 Kronburg
E-Mail: wagner.kronburg@web.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzial-Museum für Naturkunde

Jahr/Year: 2006

Band/Volume: 68_3-4_2006

Autor(en)/Author(s): Wagner Wolfgang

Artikel/Article: Präimaginalökologie mitteleuropäischer Zygaena-Arten - schwerpunktmäßig untersucht auf Magerrasen der Schwäbischen Alb 171-196