

**EINNISCHUNGSMECHANISMEN BEI  
ROTWIDDERCHEN (LEPIDOPTERA: ZYGAENIDAE)  
AUF KALKMAGERRASEN DER SCHWÄBISCHEN  
ALB (BADEN-WÜRTTEMBERG)**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
Dr. rer. nat. der Fakultät für Naturwissenschaften  
der Universität Ulm**

**vorgelegt von WOLFGANG WAGNER  
aus MEMMINGEN**

**Ulm 2002**

**Die vorliegende Arbeit wurde an der Abteilung für Experimentelle Ökologie (Biologie III) der Universität Ulm angefertigt.**

**Referentin: Prof. Dr. E. KALKO  
Abteilung für Experimentelle Ökologie (Bio III)  
Universität Ulm**

**Koreferent: Prof. Dr. G. GOTTSBERGER  
Abteilung für Systematische Botanik und Ökologie (Bio V)  
Universität Ulm**

**Dekan: Prof. Dr. WITSCHHEL**

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1. Einleitung</u></b> - - - - -	1
<b><u>2. Material und Methoden</u></b>	
2.1 Untersuchungsgebiet	
2.1.1 Geologie und Klima - - - - -	2
2.1.2 Lage und Fläche der Untersuchungsgebiete - - - - -	3
2.2 Untersuchte Arten - - - - -	7
2.3 Erfassungsmethodik und Untersuchungszeitraum	
2.3.1 Raupen - - - - -	8
2.3.2 Falter - - - - -	9
2.3.3 Nektarpflanzen - - - - -	10
2.3.4 Gebietsanalyse - - - - -	11
2.3.5 Vegetation - - - - -	12
2.3.6 Markierungsexperiment - - - - -	12
2.3.7 Andere Tiergruppen - - - - -	13
2.3.8 Parasitoide - - - - -	13
2.4 Zuchtmethoden - - - - -	13
2.5 Nomenklatur und Determination - - - - -	14
2.6 Begleit-CD - - - - -	15
<b><u>3. Ergebnisse</u></b>	
3.1 Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum - - - - -	15
3.2 Datengrundlage - - - - -	17
3.3 Gesamtphänologie	
3.3.1 <i>Zygaena minos</i> und <i>Z. purpuralis</i> - - - - -	18
3.3.2 <i>Zygaena loti</i> - - - - -	22
3.3.3 <i>Zygaena viciae</i> - - - - -	23
3.3.4 <i>Zygaena lonicerae</i> und <i>Z. ephialtes</i> - - - - -	24
3.3.5 <i>Zygaena carniolica</i> - - - - -	24
3.3.6 <i>Zygaena transalpina</i> - - - - -	26
3.3.7 <i>Zygaena filipendulae</i> - - - - -	27
3.4 Abundanz und Dominanz in den einzelnen Gebieten	
3.4.1 Untersuchungsgebiete 1998-2001 - - - - -	28
3.4.2 Untersuchungsgebiete 2000-2001 - - - - -	33
3.5 Gebietsanalyse	
3.5.1 Allgemeine Faktoren - - - - -	36
3.5.2 Raupennahrungspflanzen - - - - -	42
3.6 Weitere Aspekte zur Larvalökologie	
3.6.1 Verhalten - - - - -	47
3.6.2 Larvalhabitat - - - - -	48
3.7 Zuchtergebnisse	
3.7.1 <i>Zygaena filipendulae</i> - - - - -	50
3.7.2 <i>Zygaena transalpina</i> - - - - -	52
3.7.3 <i>Zygaena loti</i> - - - - -	52
3.7.4 <i>Zygaena viciae</i> , <i>Z. minos</i> , <i>Z. purpuralis</i> und <i>Z. carniolica</i> - - - - -	53
3.7.5 Kreuzungsversuch von <i>Z. minos</i> und <i>Z. purpuralis</i> - - - - -	54

<b>3.8. Blütenökologie</b>	
3.8.1 Nektarpflanzenspektrum	55
3.8.2 Blühphänologie und Widderchenabundanz	58
3.8.3 Konkurrenz mit anderen Blütenbesuchern	63
3.9 Weitere Aspekte zur Imaginalökologie	64
<b>3.10 Markierungsexperiment im Lindletal</b>	
3.10.1 Populationsdynamik bei <i>Z. minos</i> und <i>Z. purpuralis</i>	65
3.10.2 Mobilität bei <i>Z. minos</i> und <i>Z. purpuralis</i>	68
3.10.3 <i>Zygaena filipendulae</i>	69
3.11 Parasitoide und Feinde	70
3.12 Morphologische Besonderheiten	71
3.13 Einnischung der Grünzygaene <i>Adscita geryon</i>	72
3.14 Abschätzung der Genauigkeit der eingesetzten Transektmethode	74

#### 4. Diskussion

<b>4.1 Methoden</b>	
4.1.1 Erfassungsmethoden	75
4.1.2 Zuchtmethoden	77
4.1.3 Markierungsexperiment	78
4.1.4 Gebietsanalyse	78
<b>4.2 Einnischungsphänomene</b>	
4.2.1 Phänologie	79
4.2.2 Nahrungsbiologie	85
4.2.3 Habitatansprüche	87
<b>4.3 Mechanismus der zeitlichen und räumlichen Einnischungsphänomene</b>	
4.3.1 Notwendige Entwicklungszeit der Arten	91
4.3.2 Phänologische Folgen der unterschiedlichen Entwicklungszeit	94
4.3.3 Auswirkungen der Entwicklungszeit auf die räumliche Verteilung	96
<b>4.4 Dichteregulatoren</b>	
4.4.1 Nektar- und Raupennahrungspflanzen	97
4.4.2 Biotopfaktoren	99
4.4.3 Witterung	101
4.4.4 Prädatoren und Parasitoide	102
4.4.5 Konkurrenz	103
4.4.6 Folgen für die Abundanz	106
<b>4.5 Populationsdynamik und Mobilität</b>	107
<b>4.6 Synoptische Betrachtung</b>	110
<b>4.7 Folgen für den Naturschutz</b>	
4.7.1 Gefährdung	111
4.7.2 Schutzerfordernisse	113

<b><u>5. Zusammenfassung/Summary</u></b>	115
--	-----

<b><u>6. Farbtafeln</u></b>	120
-----------------------------	-----

<b><u>7. Literaturverzeichnis</u></b>	131
---------------------------------------	-----

#### 8. Anhang

8.1 Beschreibung der Einzelgebiete mit Flächenunterteilung	136
8.2 Tabellen (Faktoren der Gebietsanalyse, Vegetationsaufnahmen <i>Z. minos</i> )	141

## **Abkürzungen in der PDF-Datei**

M: Männchen (Singular)

MM: Männchen (Plural)

W, WW: Weibchen

## 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. Alle Arten können aus mit der Nahrung aufgenommenen Substanzen oder de novo Cyanoglukoside synthetisieren (FRANZL et al. 1986), die unter anderem in Wehrsekretbehältern gespeichert werden und den Tieren in jedem Stadium einen Schutz vor zumindest vertebraten Prädatoren wie beispielsweise Vögeln bieten (RAMMERT 1992).

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 überwinterten Tiere möglich. Während der bei uns meist unter 20 % liegende 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). Hauptsächlich an der in Mitteleuropa besonders Feuchtgebiete besiedelnden *Zygaena trifolii* konnte WIPKING (1988, 1990, 1995, 2000) exemplarisch einige Mechanismen der Diapausesteuerung klären, während die Arbeitsgruppe NAUMANN sich neben allgemeinen phylogenetischen Fragestellungen (z.B. NAUMANN 1990) intensiver mit Fragen zur Ethologie der gleichen Art beschäftigte (PRINZ & NAUMANN 1988, OCKENFELS et al. 1990, HEINE & NAUMANN 1993).

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 (AISTLEITNER 1990, HOFMANN 1994, KEIL 1993, TARMANN 1975, TREMEWAN 1985, WEIDEMANN 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. Lediglich zu populationsökologischen Fragen, insbesondere der Mobilität und Lebensdauer liegen für einige Arten erste Ergebnisse aus Markierungs-Wiederfang-Versuchen vor (LÜTTMANN 1987, SMOLIS & GERKEN 1987, KREUSEL & BÖHMER 1998, KREUSEL 1999).

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. Die sich in einem Lebensraum maximal erfolgreich reproduzierende Individuenzahl ließe sich bei einer konstanten Ressourcengrundlage etwa durch ausgedehntere phänologische Verteilung im Sommerhalbjahr beträchtlich erhöhen. Zur Überprüfung dieser Hypothese beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Einnischung von neun teils syntop vorkommenden Rotwidderchen-Arten auf Kalkmagerrasen der östlichen Schwäbischen Alb. Ausgehend von auch aus larvalbiologischen Untersuchungen ermöglichten Analysen zur phänologischen, räumlichen und nahrungsbiologischen Trennung der Arten werden modell-

haft 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. Schließlich sollen die die Widerchenabundanz limitierenden Faktoren diskutiert und eine Abschätzung des Einflusses möglicher Konkurrenz auf die Einnischungsphänomene gegenüber einer unabhängigen Spezialisierung auf verschiedene Ressourcen versucht werden.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Untersuchungsgebiet**

#### **2.1.1 Geologie und Klima**

Die Untersuchungsgebiete liegen auf der östlichen Schwäbischen Alb im Kreis Heidenheim. Die nördlich gelegenen Flächen bei Steinheim, Gerstetten, Heidenheim und Nattheim gehören zum Naturraum Albuch und Härtsfeld. Der Albuch liegt dabei westlich des Brenztals, das Härtsfeld östlich. Beide zeichnen sich durch eine ausgedehnte Überdeckung mit Feuersteinlehmen aus. Besonders bemerkbar macht sich dies bei den bodensauren Gebieten Mühlhalde und Schäfhalde, die eine entsprechende acidophile Vegetation mit Besenheide (*Calluna vulgaris*), Katzenpfötchen (*Antennaria dioica*) und Hundsveilchen (*Viola canina*) aufweisen. Bei den anderen Flächen, die an Talrändern liegen, sowie in der südlich gelegenen Lonetal-Flächenalb (Herbrechtingen, Giengen, Hermaringen) sind die Kalke des Weißen Jura Zeta oder Epsilon als allgemeiner geologischer Untergrund der Ostalb (GEYER & GWINNER 1991) nicht von solchen Lehmen überdeckt. Getrennt werden die Naturräume Albuch und Härtsfeld einerseits und die Lonetal-Flächenalb andererseits durch die miozäne Klifflinie, die als morphologischer Geländeanstieg nach Norden hin erkennbar ist. Diese tertiäre Meeresküste kann noch heute besonders an der Brandungshohlkette bei Heldenfingen betrachtet werden. Der Wartberg bei Herbrechtingen liegt dabei fast direkt an der Grenze.

Zwischen den Hängen aus widerstandsfähigen Massen- und Schichtkalken finden sich durch aus leichter ausräumbaren Schichtkalken bestehende Zementmergelschüsseln wie zum Beispiel die Eschklinge (Hermaringen) oder das Mühlthal im Eselsburger Tal (FLEISCHLE 1993). Die beiden Steinbrüche an Hirschhalde und Moldenberg sind Aufschlüsse einer besonderen Fazies des Weißjura Zeta, nämlich des Brenztal-Trümmerooliths (REIFF 1993). Dieser enthält neben Ooiden auch zahlreiche Fossiltrümmer und wurde durch starke Strömungen an der Küste des ehemaligen Jurameers als Transportkörper von Riffschutt abgelagert. Das Steinheimer Becken, an dessen Rand die Gebiete Mühlhalde, Schäfhalde, Burgstall und Knillberg liegen, entstand durch einen Meteoriteneinschlag.

Das Klima im Brenztal trägt deutlich subkontinentale Züge mit vergleichsweise heißen Sommern und kalten Wintern (BACH 1972). Die Schwankung der mittleren Temperaturen zwischen wärmstem und kältestem Monat beträgt um 19,5 °C. Die Jahresmitteltemperaturen nehmen vom etwa 520 bis 650 m NN hoch gelegenen Norden bei Steinheim, Schnaitheim und Nattheim nach Süden zur Lonetal-Flächenalb (460 bis 520 m NN) hin mit abnehmender Höhe

leicht zu und liegen bei 7-8°C. Ähnlich verhalten sich die Niederschläge, die bei Schnaitheim im Norden knapp 800 mm im Jahr erreichen, während im noch weiter im Regenschatten der Alb gelegenen Süden, so z.B. im Eselsburger Tal, nur mehr 650-700 mm fallen. Dies war im Sommer besonders an gewittrigen Tagen häufig zu beobachten. Während bei Schnaitheim heftige Schauer fielen, waren bei Giengen oft nur schwache oder gar keine Regenfälle zu erwarten. Die Frostgefährdung im Brenztal um Heidenheim ist sehr hoch, da sich von Nebentälern einfließende Kaltluft sammeln kann. Häufig sind im Winterhalbjahr ab Oktober auch Nebeltage. Insgesamt ist das Klima etwas wärmer und trockener als in den meisten anderen, höherliegenden Gebieten der Schwäbischen Alb. Im Vergleich zu den übrigen Teilen Baden-Württembergs fällt es allerdings nicht durch Extreme auf, sondern liegt im Durchschnitt (EBERT & RENNWALD 1991).

### **2.1.2 Lage und Fläche der Untersuchungsgebiete**

Die insgesamt 30 Untersuchungsgebiete (Tabelle 1; Abb. 1; Farbtafeln 1-2; Anhang 8.1) sollten möglichst alle lokalen Ausprägungen der Kalkmagerrasen repräsentieren und schwanken deshalb beträchtlich in der Flächengröße, Beweidungsintensität, Hangneigung und Exposition sowie im Steinanteil. Die Gebiete wurden in 60 möglichst homogene Teilflächen unterteilt (vgl. Anhang 8.1), wobei besonders kleine Gebiete meist als Einheit aufgefaßt wurden. Allein aufgrund des häufig sehr bewegten Reliefs wären aber völlig homogene Bedingungen nur bei einer Aufsplitterung in weit zahlreichere Kleinstflächen gegeben, worauf zugunsten einer besseren Auswertbarkeit verzichtet werden mußte.

Unregelmäßig beging ich daneben weitere Halbtrockenrasen auf der Ostalb, um zumindest das Artenspektrum der Widderchen, ihre Biotoppräferenz und grobe Häufigkeitseinschätzungen an anderen Fundorten zu erhalten. Dabei handelt es sich um Flächen bei Fleinheim nordöstlich Nattheim (Hochfeld und Hölleiche), Dischingen (Heide bei Iggenhausen), Neresheim (Riegel, Heide SE der Gallusmühle beim Bergholz), Großkuchen (Felsenkreuz), Bopfingen (Sandberg, Fohbühl), Oberkochen (Heide S Unterer Rotstein) und einige mehr. Diese wurden bei der Auswertung etwa zur Phänologie in den Diagrammen allerdings nicht berücksichtigt. Neue sich ergebende Erkenntnisse aus diesen Gebieten sind im Ergebnisteil entsprechend erwähnt.

Tabelle 1: Lage und Fläche der Untersuchungsgebiete im Kreis Heidenheim. Bei der Fläche ist in Klammern diejenige des Gesamtgebiets angegeben, wenn als Untersuchungsgebiet nur ein Teil ausgewählt wurde, sowie beim Eselsburger Tal die Fläche des besonders wichtigen Mühlhals.

<b>Num-mer</b>	<b>Gebiet</b>	<b>Gemeinde</b>	<b>Fläche ca. [ha]</b>	<b>Meereshöhe [m NN]</b>	<b>Meßtischblatt/ Quadrant</b>	<b>Gauß-Krüger-Koordinaten</b>
1	Schäfhalde	Steinheim	40	590-640	7326/2	3580400-5395800
2	Mühlhalde	Steinheim	3	650	7226/4	3581400-5396400
3	Burgstall	Steinheim	3	520-550	7326/2	3578850-5393560
4	Knillberg-Westteil	Steinheim	6 (gesamt: 12)	515-560	7326/2	3579600-5393860
5	Hirschhalde	Heidenheim	23	540-600	7226/4	3584750-5397400
6	Kelzberg	Heidenheim	11	515-580	7227/3	3585900-5397900
7	Moldenberg	Heidenheim	28	520-580	7227/3-7327/1	3586800-5396400
8	Bläßhalde	Heidenheim	13	520-570	7227/3-7327/1	3588100-5396200
9	Südliche Bläßhalde	Heidenheim	3	515-550	7327/1	3588200-5396000
10	Stürzlesberg	Nattheim	2,5	525-570	7327/1	3588850-5395750
11	Geißkanzel	Nattheim	1	530-540	7227/3	3589750-5396550
12	Reibertal	Nattheim	5	530-560	7327/1-7327/1	3589900-5396200
13	Ramenstein	Nattheim	2,5	540-560	7227/3	3590300-5397140
14	Hetzenäcker	Nattheim	4,5	540-570	7227/3	3590800-5397000
15	Arphalde	Heidenheim	7	540-580	7326/2	3583700-5392100
16	Rappeshalde	Heidenheim	0,5	490-510	7326/2	3585390-5392360
17	Erbisberg	Heidenheim	2,5	530-545	7327/1	3586000-5392250
18	Hohler Stein	Heidenheim	0,8	520-545	7327/1	3585860-5391800
19	Kunigundenbühl	Heidenheim	0,8	540-555	7327/1	3587200-5391170
20a	Wartberg-Süd	Herbrechtingen	9	505-545	7327/3	3586400-5389150
20b	Wartberg-Nord	Herbrechtingen	1	515-525	7327/3	3586390-5389400
21	Anhausen	Herbrechtingen	0,6	490-510	7326/4	3584670-5387800
22	Eselsburger Tal	Herbrechtingen	55 (Mühlhals: 9)	470-520	7327/3	3586400-5389200
23	Langes Feld	Herbrechtingen	1,5	460	7327/3	3589100-5388850
24	Irpfl-Westhang	Giengen	13	480-515	7327/3	3589730-5389000
25	Irpfl-Südhang	Giengen	8	460-500	7327/3	3590380-5388530
26	Hoher Rain	Giengen	5,5	460-500	7427/1	3589050-5385250
27	E der Eschklinge	Hermaringen	10	460-490	7327/3	3591000-5385800
28	Südteil Benzenberg	Hermaringen	14 (gesamt: 35)	455-498	7327/4	3592700-5386150
29	Hungerbrunnental	Gerstetten	23 (gesamt: 47)	520-545	7426/1	3579080-5383780
30	Steinenfeld-Ostteil	Gerstetten	4,5 (gesamt: 11)	565-610	7325/4	3573000-5386150

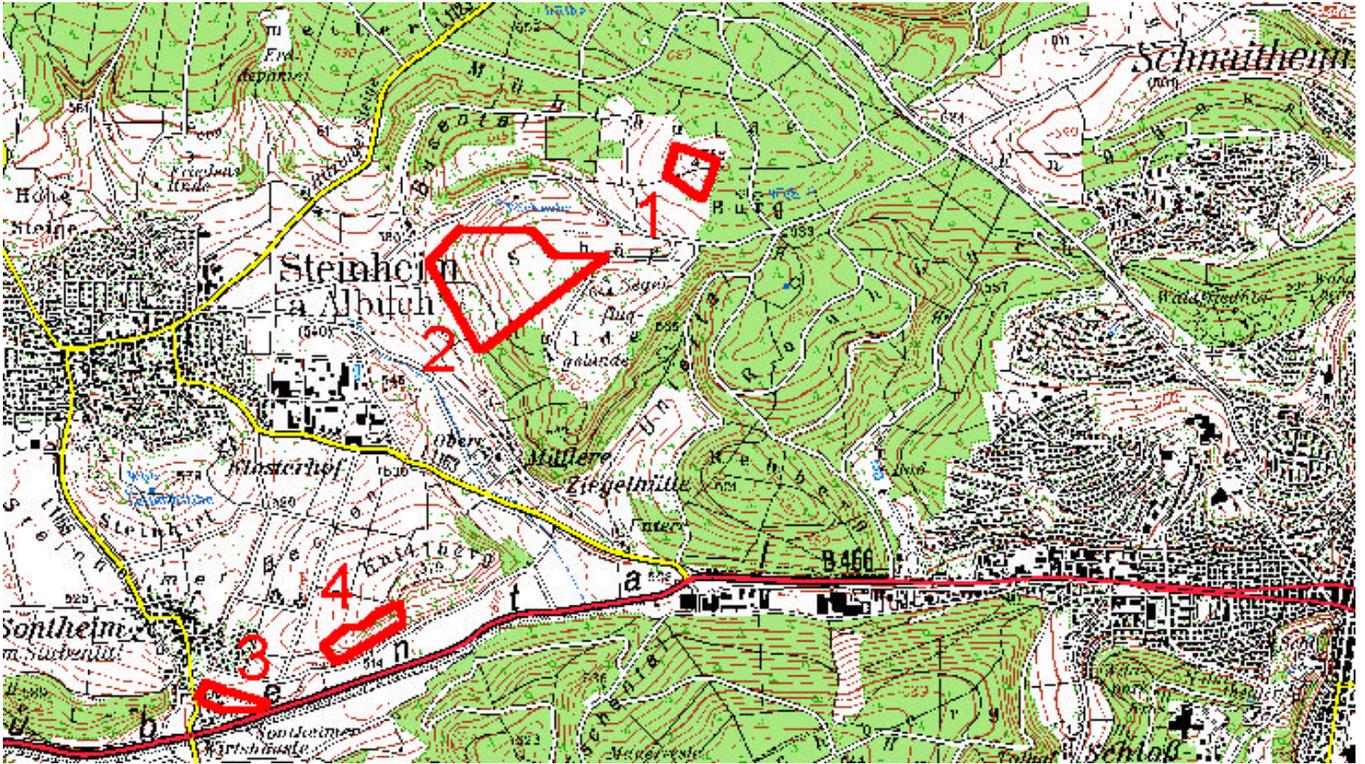


Abb. 1a: Gebiete 1-4 (Ziffern nach Tabelle 1) westlich von Heidenheim bei Steinheim. Auszug aus der topographischen Karte 1:50000, Blatt 7226/4 und 7326/3. Leicht verkleinert.

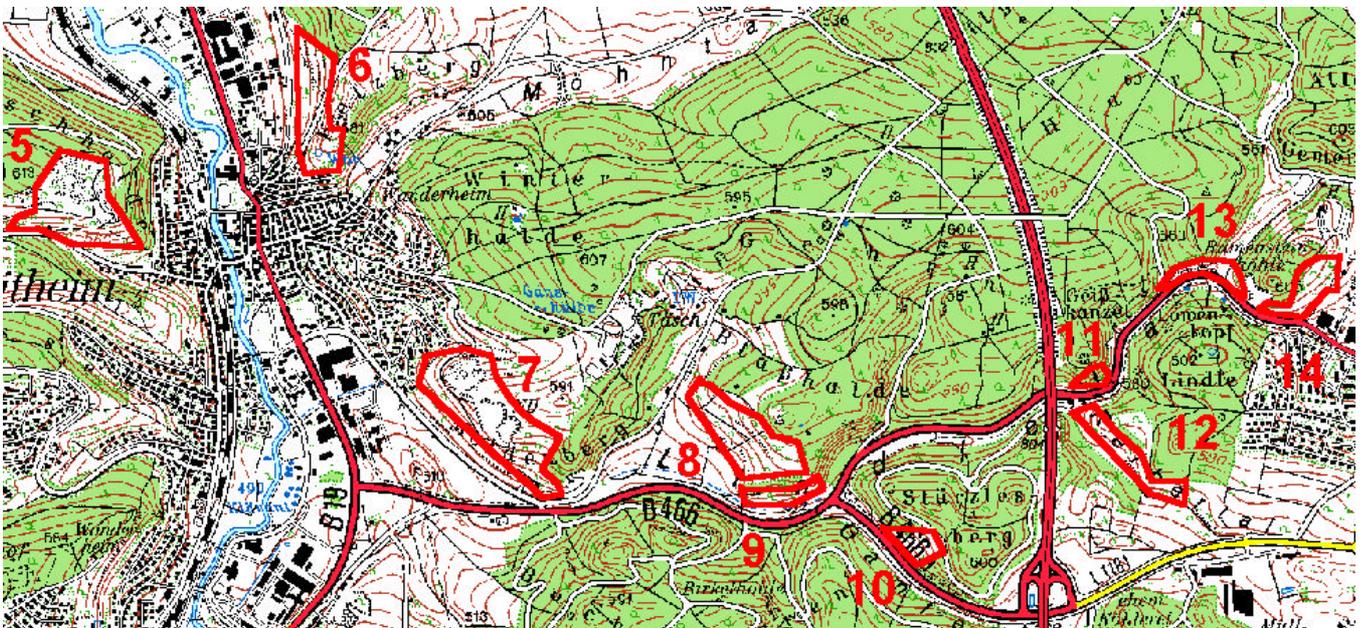


Abb. 1b: Gebiete 5-14 (Ziffern nach Tabelle 1) im Norden von Heidenheim von Schnaitheim im Westen bis Nattheim im Osten. Auszug aus der topographischen Karte 1:50000, Blatt 7226/4, 7227/3 und 7327/1. Verkleinert.

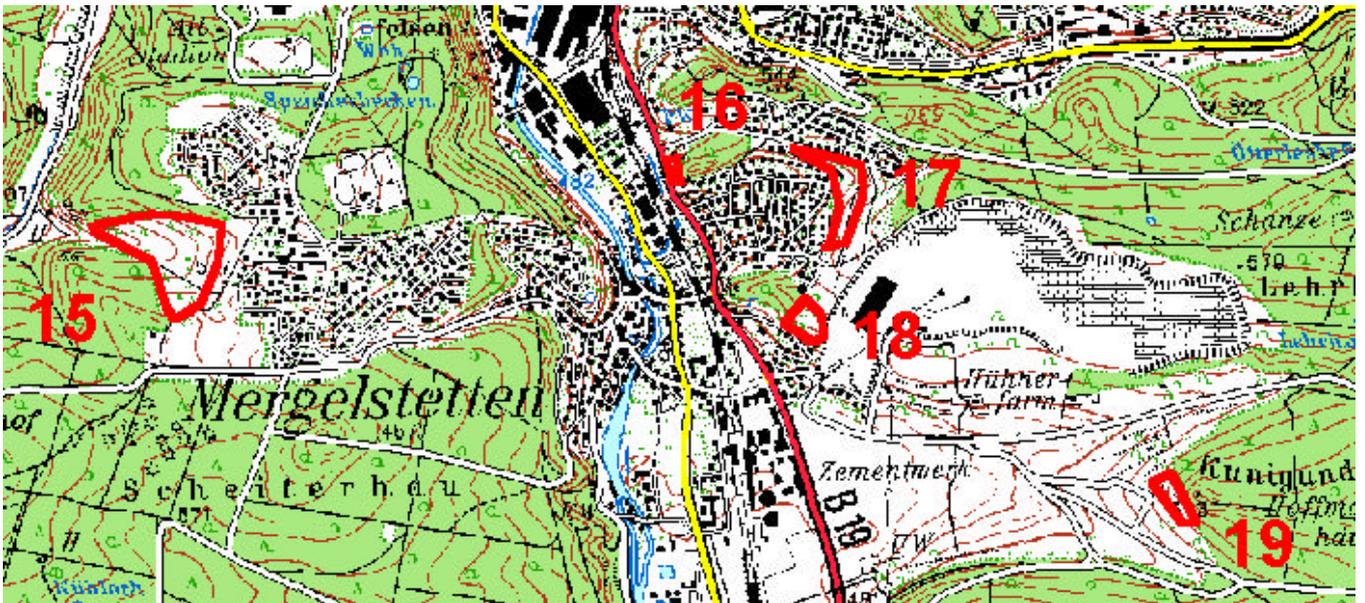


Abb. 1c: Gebiete 15-19 (Ziffern nach Tabelle 1) im Süden von Heidenheim bei Mergelstetten. Auszug aus der topographischen Karte 1:50000, Blatt 7326/2 und 7327/1.

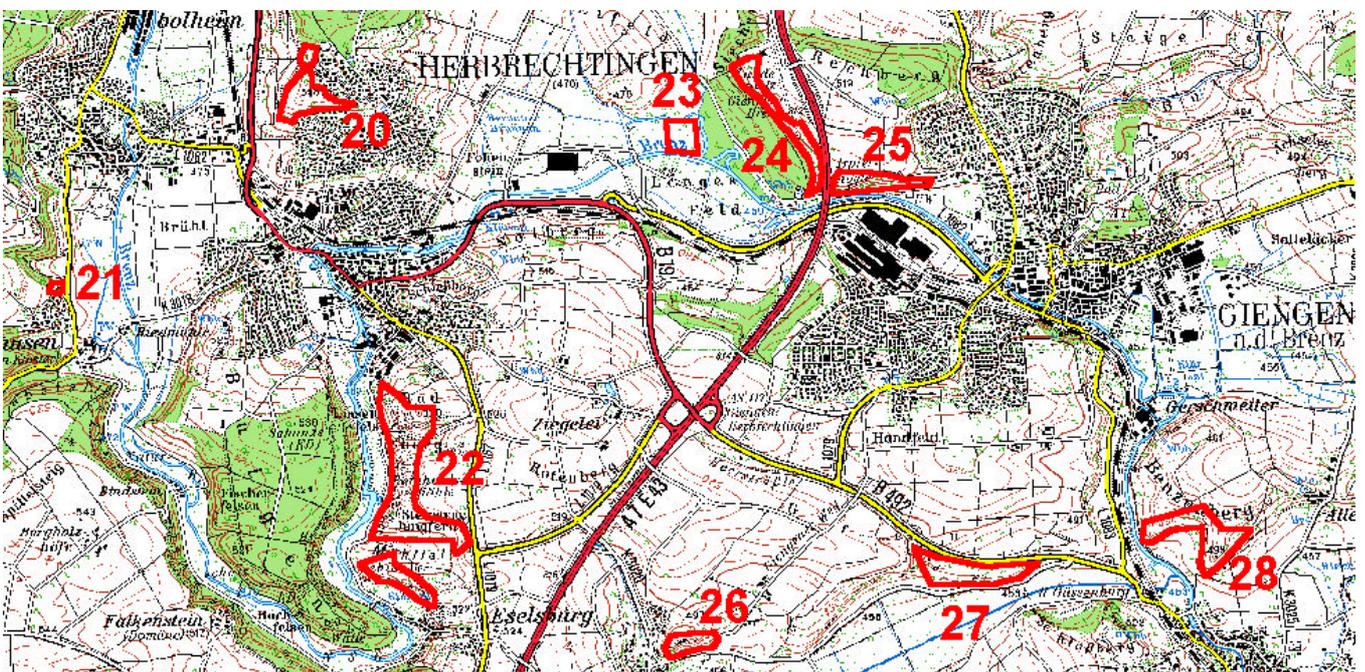


Abb. 1d: Gebiete 20-28 (Ziffern nach Tabelle 1) in der Lonetal-Flächenalb von Herbrechtingen über Giengen bis Hermaringen. Auszug aus der topographischen Karte 1:50000, Blatt 7326/4, 7327/3, 7427/1 und 7327/4. Stark verkleinert.

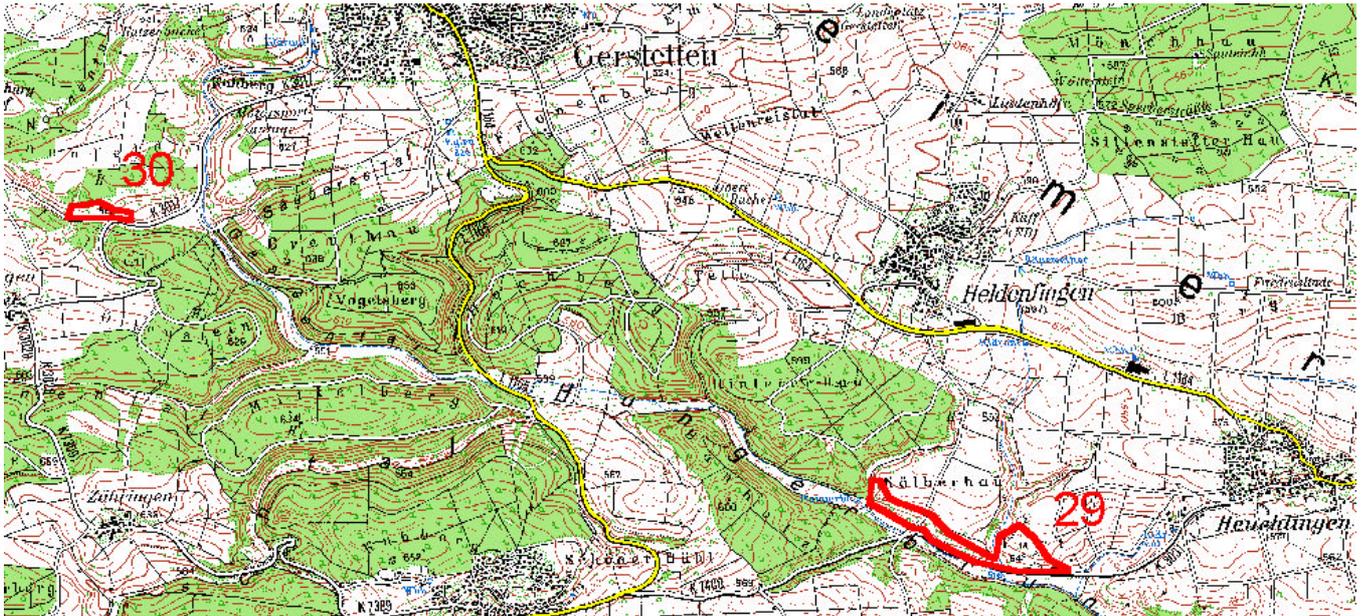


Abb. 1e: Gebiete 29 und 30 (Ziffern nach Tabelle 1) bei Gerstetten südwestlich von Heidenheim. Auszug aus der topographischen Karte 1:50000, Blatt 7325/4 und 7426/1 (nur die Gebiete betreffende Blätter angegeben). Verkleinert.

## 2.2 Untersuchte Arten

Insgesamt wurden neun Rotwiderchenarten der Gattung *Zygaena* (Zygaeninae) untersucht (Tabelle 2, Farbtafel 6). Dabei sind *Z. minos* und *Z. purpuralis* Vertreter der phylogenetisch ältesten Untergattung *Mesembrynus*, deren Raupen meist an Apiaceen, abgeleitet auch an Lamiaceen und Asteraceen fressen, während *Z. carniolica* zu *Agrumenia* zu rechnen ist (NAUMANN et al. 1999). Alle übrigen Arten gehören nach momentaner Auffassung zum Subgenus *Zygaena* und sind als Larve wie diejenigen der Untergattung *Agrumenia* auf Fabaceen spezialisiert.

*Zygaena transalpina* besiedelt das Untersuchungsgebiet in der zu einer Konfluenz der Vorderflügel Flecken 5+6 tendierenden Subspezies *hippocrepididis*, die im Gegensatz zum transalpinoiden Stamm mit stets getrennten roten Flecken eine glaziale Persistenz in Südwesteuropa aufwies (HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999) und heute von Südwesten kommend bei uns den Jurazug besiedelt. Dabei stößt sie bis Thüringen vor (KEIL 1993). Der transalpinoiden Stamm hingegen erreichte von Italien (adriatomediterrane Glazialpersistenz) über die Alpen kommend den Schwarzwald, das Rheintal (HOFMANN 1994) und das nördliche Vor-alpenland (Memmingen, eigene Beobachtungen). Zwischen beiden Unterarten sind breite Transfusionszonen mit allen Übergängen der Merkmale bekannt, so in Vorarlberg (AISTLEITNER 1998).

*Zygaena purpuralis* und *Z. minos* sind eng verwandte Zwillingarten (z.B. NAUMANN & NAUMANN 1985; HOFMANN 1994) mit identischer Zeichnungsanlage. Sie lassen sich nur anhand der Larven oder genitalmorphologisch trennen (vgl. 2.5).

Ergänzend untersuchte ich die Einnischung des Grünwiderchens *Adscita geryon* (Procridinae). Die Ergebnisse werden bei dieser Art in einem eigenen Kapitel dargestellt.

Tabelle 2: Artnamen und subspezifische Einordnung der untersuchten Widderchen (nach HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999).

wissenschaftlicher Artnamen	Subspezies im Gebiet	deutscher Name
<i>Zygaena filipendulae</i> (LINNAEUS 1758)	<i>polygalae</i> ESPER 1783	Sechsfleck-Widderchen
<i>Zygaena carniolica</i> (SCOPOLI 1763)	<i>modesta</i> BURGEFF 1914	Esparssetten-Widderchen
<i>Zygaena loti</i> [DENIS & SCHIFFERMÜLLER 1775]	<i>achilleae</i> ESPER 1780	Beilfleck-Widderchen
<i>Zygaena loniceriae</i> (SCHEVEN 1777)	nominotypisch	Klee-Widderchen
<i>Zygaena viciae</i> [DENIS & SCHIFFERMÜLLER 1775]	nominotypisch	Kleines Fünffleck-Widderchen
<i>Zygaena transalpina</i> (ESPER 1779)	<i>hippocrepidis</i> (HÜBNER [1799])	Hufeisenklee-Widderchen
<i>Zygaena ephialtes</i> (LINNAEUS 1767)	<i>peucedani</i> ESPER 1780	Veränderliches Widderchen
<i>Zygaena minos</i> [DENIS & SCHIFFERMÜLLER 1775]	<i>normanna</i> VERITY 1922	Bibernell-Widderchen
<i>Zygaena purpuralis</i> (BRÜNNICH 1763)	nominotypisch	Thymian-Widderchen
<i>Adscita geryon</i> HÜBNER 1813	nominotypisch	Sonnenröschen-Grünwidderchen

## 2.3 Erfassungsmethodik und Untersuchungszeitraum

Die sieben Gebiete Hirschhalde, Moldenberg, Arphalde, Rappeshalde, Kunigundenbühl, Wartberg und Eselsburger Tal wurden über vier Jahre von 1998-2001 untersucht. Die restlichen Flächen wurden meist 2000-2001 bearbeitet. Bei Schäfhalde, Knillberg, Burgstall, Langem Feld und Irpfl erstreckte sich der Untersuchungszeitraum nur über das Jahr 2000. Nur 2001 beging ich dagegen das Steinenfeld bei Gerstetten. Im März und Anfang April 2002 wurden noch ergänzende Untersuchungen zum Aktivitätsbeginn der Raupen nach der Diapause durchgeführt.

### 2.3.1 Raupen

Besonders ab Anfang April 2001 und im März 2002 suchte ich intensiv nach Raupen, um das Freilandverhalten, die Nahrungspflanzenwahl und den Aktivitätsbeginn der Tiere nach dem Winter zu erfassen. 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 geschlagen 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 Esparssettenhorsten 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 Hornkleepflänzchen übersät von weißen Flecken, die vom Stehenlassen der Blattepidermis beim Fraß herrührten.

Ältere Tiere wurden rein visuell gesucht, wobei bedeckte, aber warme Tage am geeignetsten waren. 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. Insgesamt war die Erfassung der Präimaginalstadien weniger witterungsabhängig als die der Falter (vgl. HERMANN 1998) und konnte selbst bei Regenwetter durchgeführt werden.

Für die Auswertung 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. 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.

### 2.3.2 Falter

Um Daten zu Phänologie, Verhalten, Biotopwahl und relativer Abundanz zu erhalten, strebte ich an, die Untersuchungsflächen einmal pro Woche während der Falterflugzeit von Mitte Juni bis September zu begehen. Bedingt durch die Vielzahl der Flächen konnte diese Vorgabe besonders in Abhängigkeit von der Witterung nicht immer für alle Gebiete erfüllt werden. Für jede Untersuchungsfläche sollten aber wenigstens 12 bis 13 Begehungen in den etwa 15 Wochen der „Widderchensaison“ stattfinden. Eine Woche mit regenbedingt nur sehr wenigen Daten liegt beispielsweise vom 8.-15. Juli 2000. Gelegentlich wurden in Diagrammen zur Phänologie Werte dieser witterungsbedingt extrem schlechten Woche mit nur sehr wenigen Begehungen für eine bestimmte Art durch das Mittel der beiden Nachbarwochen ersetzt (Abb. 6a, Abb. 7a: beide unter 3.3; Abb. 23c: 4.2.1), um Artefakte wie einen auf wetterbedingten Erhebungsdefiziten beruhenden, vorgetäuschten Einbruch der Individuenzahlen zu vermeiden. Dies ist in jedem Fall in der jeweiligen Legende vermerkt. Bei Flächen mit einer starken Population von *Z. filipendulae* zählte auch der Oktober noch zum Untersuchungszeitraum.

Zur Erfassung wurde die Transektmethode (POLLARD 1977; THOMAS 1983) angewandt. Dabei unterteilte ich die Flächen nach Exposition, Vegetation und Hangneigung in Teilgebiete und ging diese in Schleifen mit etwa fünf Meter Abstand hangparallel ab. Mit zunehmender Kenntnis der Untersuchungsgebiete konnten als bedeutender erkannte Stellen intensiver untersucht werden als Teilflächen mit geringer oder keiner Bedeutung für die Widderchen, so daß keine starre Vorgehensweise eingehalten wurde. Die so erhaltenen Daten liefern keine absoluten Individuenzahlen der im Gebiet vorhandenen Tiere, sondern einen Index der relativen Abundanz, der jedoch für Vergleiche zwischen den Gebieten gut geeignet ist.

Um die Diskrepanz zwischen den so ermittelten Werten von der tatsächlich vorhandenen Widderchenzahl wenigstens etwas abschätzen zu können, wurden 2000 zu *Z. viciae* (Anhausen), *Z. carniolica* (Hirschhalde), *Z. purpuralis* (Hirschhalde, Rappeshalde) und *Z. transalpina* (Hirschhalde, Erbisberg) zunächst normale Begehungen mit Zählung der Tiere durchgeführt. Direkt im Anschluß wurden dann alle Widderchen der jeweiligen Art eingesammelt und in einer mit Gras und Zellstoff ausgelegten Kühltasche deponiert. Nachdem für

mindestens 15 Minuten kein weiteres Tier gefunden werden konnte, ließ ich die gefangenen, gezählten und durch die Kühle beruhigten Tiere wieder in der Fläche verteilt frei.

Die Begehungen erfolgten bevorzugt bei sonnigem Wetter zwischen etwa 9 und 18.30 Uhr MESZ. Dabei wurde morgens nach Möglichkeit mit ost- bis südostexponierten Flächen begonnen und abends dann mit westexponierten geschlossen. Die Zeit vorher und nachher wurde für die Raupensuche genutzt. Bei der Vielzahl der Untersuchungsflächen mußten aber auch bewölkte Tage genutzt werden, die von einigen Regenschauern unterbrochen sein konnten. An Tagen mit längeren Regenphasen führte ich dagegen keine Untersuchungen zu den Imagines durch. Lagen für ein Gebiet etwa wegen Larvaluntersuchungen mehrere Begehungen in derselben Woche vor, zog ich zur Auswertung der Imagines grundsätzlich nur eine Begehung heran, und zwar diejenige mit dem höchsten Abundanzwert.

Mit den so erhaltenen Werten wurden zum einen für die einzelnen Arten Wochenphänogramme als Summe der Einzelgebiete für die jeweiligen Jahre gebildet und zum anderen die Gesamtphänologie der Gattung *Zygaena* in den Einzelgebieten erfaßt, die ich dann mit der jeweiligen Blühphänologie verglich. Daneben wurde die Abundanz als festgestellte Häufigkeit (Summe aller wöchentlichen Nachweise eines Jahres) einer Art pro Flächenanteil und die Dominanz als relativer Anteil einer Spezies an der Gesamtindividuenzahl aller Widderchen in den Einzelgebieten definiert. Dabei ist die Abundanz in den Diagrammen unter 3.4 vereinfacht auf die Gesamtfläche des jeweiligen Untersuchungsgebiets bezogen.

### 2.3.3 Nektarpflanzen

Bei den Begehungen zur Imaginalphänologie und Abundanz wurden auch die Blütenbesuche notiert, wobei bei den „widerchentypischen“ Gattungen (z.B. HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999; KREUSEL & BÖHMER 1998; WAGNER 1999) *Scabiosa*, *Knautia*, *Centaurea*, *Carduus*, *Cirsium*, *Echium*, *Dianthus* und *Origanum* 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. Dazu benutzte ich folgende Formel:

$$- \sum p_i \ln p_i$$

$p_i = n_i/N$ : relativer Anteil einer Pflanzenart an allen Blütenbesuchen

Zusätzlich erfolgte mittels wöchentlicher Vergabe eines relativen Blütenindex von eins bis vier für die widerchenrelevanten 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 Blüte (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. Es wurden auch Zwischenwerte (z.B. 2-3) und Tendenzen (2- oder -3) vergeben. Für die Gesamtblühphänologie berechnete ich Mittelwerte für die Gebiete, wobei auch die Tendenzen nach Möglichkeit berücksichtigt wurden. Hierbei faßte ich die Gattungen *Cirsium* und *Carduus* 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*, *Ori-ganum*). Über eine Korrelation des Blühverlaufs mit der Widderchenphänologie wurde anschließend der Zusammenhang zwischen Ressourcenbasis und -nutzung untersucht (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman).

Um die Bedeutung der Konkurrenz zwischen den Widderchen und anderen Insekten um Blüten abschätzen zu können, führte ich an Hirschhalde, Ramenstein und Wartberg 2001 an besonders blüten- und widderchenreicher Stelle bei sonniger Witterung auf einer 25 Quadratmeter großen Untersuchungsfläche eine Erfassung der Blüten beziehungsweise Infloreszenzen, Widderchenindividuen und der anderen Blütenbesucher durch.

### 2.3.4 Gebietsanalyse

Die 60 Teilflächen der Untersuchungsgebiete wurden anhand von Indizes für biotische Faktoren wie Häufigkeit und Vorkommen von Raupennahrungspflanzen, Magerkeit bzw. Verfilzungsgrad der Vegetation, Moosanteil, Waldnähe, Gehölzanteil sowie abiotischen 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 Exposition wurde anhand der topographischen Karte 1:50000 sowie bei kleineren Hängen mit einem Kompaß ermittelt. Zur Feststellung der Flächengröße kam bei großen Teilflächen die Funktion zur Flächenberechnung des Kartenprogrammes „Top 50“ des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg zur Anwendung, während kleinflächige mit einem 50-Meter-Maßband grob überschlagen wurden. Dabei bedeutet der Index „eins“ eine Fläche von maximal 1-1,5 Hektar, der Index „zwei“ 2-5, der Index „drei“ bis 12 und der Index „vier“ schließlich über 12-15 Hektar. Die übrigen Parameter schätzte ich 2000 und 2001 am Ende der Geländetätigkeit je einmal für jede Teilfläche, wobei eine möglichst einheitliche Bewertung angestrebt wurde. Der endgültige Wert kam dann durch Zusammenfassung der beiden Einzelwerte zustande.

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) als bei häufigen Arten, um wenigstens einige Flächen auswerten zu können. Zusätzlich wurden hier eventuelle Raupenfunde mitberücksichtigt, so bei *Z. ephialtes* am Kunigundenbühl.

Um Unterschiede zwischen den Wertereihen aller stark besiedelten zu denen aller Teilflächen und aller nicht individuenreich besetzten auf ihre Signifikanz zu überprüfen, verwendete ich aufgrund der nur in Rangzahlen vorliegenden Werte den U-Test nach MANN und WHITNEY (vgl. TIMISCHL 2000). Zusätzlich wurde für jeden Faktor und jede Widderchenart der Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN 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“. Um Ähnlichkeiten zwischen mehreren Arten aufzuzeigen, wurde weiterhin eine Clusteranalyse durchgeführt. Dabei zog ich zur Berechnung die Mittelwerte der Faktoren aller von der jeweiligen Art stärker besiedelten Teilflächen heran. Als Distanzmaß wurden die quadrierten euklidischen Abstände verwendet, bei denen weiter auseinanderliegende Objekte stärker gewichtet sind, und als Fusionsregel die „Complete Linkage“ (Maximum-Methode). Sämtliche statistischen Auswertungen erfolgten mit dem PC-Programm „Statistica 6.0“.

Die Raupennahrungspflanzen wurden im Gegensatz zu den übrigen Faktoren nur für die 31 (Wartberg getrennt nach Nord- und Südteil) Gesamtgebiete erhoben, wobei ich zusätzlich die Dichte der Widderchenpopulationen jeweils von „eins“ (wenige Einzelfunde) bis „vier“ (starke Population auf größerem Flächenanteil) einschätzte. Nach dem Schema der anderen Faktoren wurden Abweichungen der Wertereihen mit dem U-Test auf Signifikanz überprüft, wobei sowohl alle überhaupt als auch alle von starken Populationen (Dichte 3-4) besiedelten Gebiete jeweils mit allen Gebieten und allen nicht bzw. nur schwach besiedelten verglichen wurden. Bei signifikanten Unterschieden wurde die Verbreitung des Widderchens zumindest teilweise von der Raupennahrungspflanze limitiert. Zusätzlich kam wie bei den anderen Faktoren eine Korrelationsanalyse zur Anwendung. Hierzu wurde wieder der Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN berechnet.

### 2.3.5 Vegetation

Um die bevorzugte topographische, abiotische und biotische Struktur der Larvalhabitate der in ihrer Präimaginalökologie noch wenig erforschten *Z. minos* aufzuzeigen, wurden einige Raupenfundstellen in den Einzelgebieten mittels Vegetationsaufnahmen nach einer Deckungsgradskala (BRAUN-BLANQUET 1951) aufgenommen (Anhang 8.2). Diese verfeinerte ich im unteren Bereich (+ bei Deckung < 1%).

Schließlich wurden alle Rote-Liste-Arten unter den Gefäßpflanzen erfaßt und in einer Artenliste (auf CD) mit Häufigkeitsindizes von eins (Einzelpflanzen) bis vier (häufig und flächig vorkommend) dargestellt.

### 2.3.6 Markierungsexperiment

2001 wurde im Lindletal zur Erfassung von Populationsdynamik und Mobilität ein Markierungsexperiment mit Schwerpunkt auf dem Zwillingsartenkomplex *Z. minos/purpuralis* durchgeführt. Dazu markierte ich die Falter mit Hilfe eines extrafeinen, weißen Lackstiftes auf der Vorderflügeloberseite mit einem datums- und gebietspezifischen Punktcode (vgl. Farbtafel 5d). Dabei wurden die Tiere vorsichtig mit der einen Hand an den Antennen oder dem Thorax gefaßt und mittels des Stifts in der anderen Hand mit dem Punktmuster versehen. Der rechte Vorderflügel erhielt den immer gleichen Punktcode des Gebietes und der linke den wechselnden Code des Datums. Dabei wurde ein möglichst einfaches und leicht im Gelände identifizierbares Muster aus wenigen Punkten angestrebt. Die Zugehörigkeit zu Teilflächen sollte ebenfalls erkennbar sein, um die Mobilität zwischen den Teilflächen innerhalb eines Untersuchungsgebiets abschätzen zu können. Auf eine individuelle Markierung verzichtete ich wegen des bei den teils sehr individuenreichen Populationen zu großen Aufwands.

Zur Flugzeit der beiden Arten – etwa vom 20. Juni bis 25. August – wurden die Gebiete Bläßhalde, Stürzlesberg, Geißkanzel, Reibertal, Ramenstein und Hetzenäcker etwa zweimal wöchentlich begangen und die Zahl der neu markierten Tiere, der Wiederfunde nach

Datum der Markierung und der Flächenwechsler geschlechtsspezifisch notiert. Zur Auswertung berücksichtigte ich besonders den Verlauf des Geschlechtsverhältnisses, des Schlupfgeschehens über den Anteil neu markierter Tiere an der Gesamtzahl aller Falter sowie den Anteil der Flächenwechsler an der Gesamtzahl der wiedergefangenen Tiere.

### 2.3.7 Andere Tiergruppen

In allen Untersuchungsgebieten wurde – auch zur besseren ökologischen Charakterisierung der Teilflächen – begleitend die Heuschrecken- und Schmetterlingsfauna aufgenommen (Artenliste und Datenbank auf CD). Weitgehend vollständig erfaßt dürften bei letzterer Gruppe die Tagfalter und teils auch die Spinner und Schwärmer sein. Hierbei wurden teils spezielle Methoden angewandt. So wurden die Zipfelfalter (Lycaenidae: Theclinae) oder der Zwerg-Bläuling (*Cupido minimus*) meist als Ei gesucht oder erstere auch als Raupe geklopft. Bei der Suche der Ameisengrille (*Myrmecophilus acervorum*) wurden an günstigen Stellen Steine gedreht. Etliche Heuschrecken ließen sich am besten akustisch nachweisen, besonders die *Chortippus biguttulus*-Gruppe. *Isophya kraussi* (Plumpschrecke) wiederum konnte leicht als agilere Larve ab März gefunden werden, während ältere Tiere Ende Mai bis Juli wegen ihrer Trägheit mehr durch Zufall auffielen. Weiterhin sollten einige auffällige Arten anderer Tiergruppen erfaßt werden, so beispielsweise der Reptilien, Wildbienen, Käfer oder Mollusken.

### 2.3.8 Parasitoide

Einzelne Raupen, speziell durch besonderes Verhalten oder vom Gros abweichende Größe auffällige Tiere, wurden eingesammelt und die erhaltenen Parasitoide präpariert. Die Determination übernahm die Zoologische Staatssammlung München. Da aber für einige Gruppen derzeit allgemein keine Bearbeiter verfügbar sind, werden die Ergebnisse bei den meisten Arten erst in weiterer Zukunft vorliegen (SCHUBERTH, persönliche Mitteilung).

Um eine Abschätzung des Einflusses der Parasitoide auf die Abundanzschwankungen wenigstens ansatzweise durchführen zu können, sammelte ich neben allgemeinen Beobachtungen 2001 am Benzenberg eine größere Zahl Kokons von *Z. filipendulae* ein und bestimmte die Zahl der schlüpfenden Falter und der Parasitoide. Erstere wurden dann wieder am Fundort ausgesetzt.

## 2.4 Zuchtmethoden

Neben den Freilandarbeiten wurden im Jahr 2000 Zuchten von *Z. transalpina*, *Z. filipendulae* und *Z. loti* begonnen. Es sollten so die Ursachen der unterschiedlichen Flugzeit etwa infolge des Überwinterungsverhaltens ergänzend zur Raupensuche im Herbst und Frühjahr im Freiland untersucht werden.

Dazu brachte ich einzelne Freiland-WW der genannten Arten zur Eiablage, welche meist noch auf dem Transport einsetzte. Die schlüpfenden Jungraupen wurden zum einen im Zimmer an einer nicht besonnten Fensterbank in Schnappdeckelgläschen und zum anderen im Freien in Schnappdeckelgläschen mit Gazedeckel an einer teilbesonnten, regengeschützten Stelle gezogen. Etwa alle drei Tage hielt ich das jeweilige Häutungsstadium bei der Reinigung der Gefäße fest.

Alle Tiere wurden nach der obligatorischen Diapausehäutung in den Gläschen mit Moos und Zellstoff unter annähernden Freilandtemperaturen in einer Garage überwintert. Bei

den Rotwidderchen wird die Dormanz als Besonderheit unter den Lepidopteren durch die Häutung in ein besonderes, freßinaktives Stadium mit bräunlicher Färbung, kleinerer Kopfkapsel und dickerer Haut eingeleitet. Das Diapausestadium wird durch das Anhängen eines tiefgestellten „D“ an die Stadienbezeichnung bezeichnet (vgl. HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999). So bedeutet „L4<sub>D</sub>“, daß die Überwinterung nach der dritten Larvalhäutung im vierten Raupenstadium erfolgt. Im Frühjahr wurde ein Teil der Tiere aus der Garage direkt ins Zimmer zurückgeholt und die Zeit bis zur Häutung aus dem Diapausestadium sowie die weitere Entwicklung wie beispielsweise die Anzahl der noch durchlaufenen Freßstadien festgehalten. Die anderen Tiere wurden unter unterschiedlichen Temperaturbedingungen teils im Freiland in Gläschen an einer leicht beschatteten Stelle und teils in gazebespannte Blumentöpfe mit eingetopfter Nahrungspflanze auf der sonnigen Terrasse gehalten, wobei ebenfalls die Zeit bis zur Häutung verfolgt wurde. Daneben erfaßte ich die Zahl der Tiere, die eine repetitive Diapause (vgl. WIPKING 1988) eingingen.

Bei *Z. filipendulae* wurden dabei Nachkommen von Tieren von Anfang August, Ende August und späten aus dem September untersucht. 2001 fand zusätzlich eine Zucht mit Tieren aus einem Moorbiotop bei Füssen/Allgäu statt, um etwaige Unterschiede zwischen den früher fliegenden Feuchtgebiets- (Juni bis Anfang August) und den Trockenrasenpopulationen (Juli bis September) im Überwinterungsstadium festzustellen. Von den Arten *Z. minos*, *Z. purpuralis*, *Z. lonicerae*, *Z. viciae* und *Z. carniolica* wurden einige wenige Larven aus Eiern bis zur Diapause gezüchtet, um Hinweise auf das Häutungsstadium zu erhalten, in dem die Überwinterung erfolgt.

Ergänzend züchtete ich einzelne, im Frühjahr 2001 gefundene Freilandräupchen im Freien in Gläschen weiter, um Hinweise auf die im Frühjahr absolvierte Stadienzahl und repetitive Diapause sowie Parasitoide zu erhalten. Die ausgewachsenen Raupen, solche in repetitiver Diapause oder spätestens die Falter wurden wieder am Fundort ausgesetzt. Nur bei *Z. minos* und *Z. purpuralis* verwendete ich einige Tiere für einen Kreuzungsversuch. Dazu wurden erhaltene Kokons von *Z. minos* kühl aufbewahrt und solche von *Z. purpuralis* wärmer, um ein gleichzeitiges Schlüpfen zu erreichen. Die Falter wurden dann nach Geschlechter und Arten getrennt im Freiland in einem Gazekäfig gehalten.

Die Zucht bot auch die Möglichkeit, Fütterungsexperimente durchzuführen, um die Bedeutung der festgestellten Freiland-Raupennahrungspflanzen im Vergleich zu potentiell möglichen, etwa in der Literatur genannten Pflanzenarten besser einschätzen zu können.

## 2.5 Nomenklatur und Determination

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen folgt SEBALD et al. (1993-1998), die der Heuschrecken DETZEL (1998). Die Tagfalter sind nach SETTELE et al. (1999) benannt, die Widderchen und übrigen Nachtfalter nach EBERT (1994-2001).

Die als Imagines im Freiland nicht zu unterscheidenden Zwillingsarten *Z. minos* und *Z. purpuralis* wurden mittels Genitalpräparation determiniert. Von den entscheidenden Strukturen (Uncus, Lamina dorsalis) des männlichen Genitalapparates wurden Dauerpräparate durch Aufkleben mittels klar erhärtendem Leim auf an der Nadel der Falter befindlichen Kartonplättchen angefertigt. Nachdem sich durch Raupenfunde und Untersuchungen 1999 bereits eine relative phänologische Trennung andeutete, wurden neben einzelnen MM zu Beginn der Flugzeit des Artenkomplexes im Juni und am Ende im August besonders in der Überschneidungszeit Ende Juni bis Mitte/Ende Juli insgesamt 2000/2001 gut 90 Tiere untersucht, ca. 40 von *Z. minos* und 50 von *Z. purpuralis*. Um die Population zu schonen, wurden gelegentlich anzutreffende MM mit verletzten bzw. verkrüppelten Flügeln bevorzugt und an

der selben Lokalität pro Woche nur ein bis maximal drei MM entnommen. Somit waren die Befruchtungschancen für WW nicht gefährdet.

Einige WW konnten zusätzlich durch Eiablagen determiniert werden. Nachdem sie ein Eihäufchen abgesetzt hatten, was meist bereits während der Freilandarbeiten in einem Filmdöschen geschah, wurden sie wieder im Biotop ausgesetzt. Genauso verfuhr ich dann mit den geschlüpften und durch ihre Futterpflanzenwahl (vgl. 3.5.2) determinierten Raupen.

In wenigen Einzelfällen mußten auch sehr stark abgeflogene Tiere von *Z. filipendulae*, *Z. lonicerae* und *Z. transalpina* genitalmorphologisch untersucht werden, besonders, um an Orten ohne vorherige Nachweise einzelne Tiere der letzten beiden Arten von der häufigen *Z. filipendulae* abtrennen zu können. Dadurch konnte beispielsweise *Z. lonicerae* für das Mühlental (Eselsburger Tal) belegt werden.

Die Jungraupen von *Z. carniolica* und *Z. filipendulae* sind teils nur mit einiger Erfahrung anhand bestimmter Merkmale wie der Grundfarbe zu unterscheiden. In Zweifelsfällen wurden die betreffenden Tiere mitgenommen und nach sicherer Determination meist ein Häutungsstadium weiter wieder an Ort und Stelle ausgesetzt.

## **2.6 Begleit-CD-Rom**

Auf der Begleit-CD sind die Daten der Raupen und Imagines sämtlicher Begehungen zu den Widderchen von 1998 bis 2001 in der Access-Datenbank „Zygaenidae“ gespeichert, mit Blütenbesuch und Markierungs-Wiederfangdaten im Lindletal 2001. Daneben finden sich die Funde von Tagfaltern, Spinnern, Schwärmern, Heuschrecken, Bienen und Rote-Liste-Gefäßpflanzen von 2000 und 2001 in den jeweiligen Datenbanken sowie eine entsprechende Artenliste (Excel-Tabelle). Die Daten von 1998 und 1999 konnten außer bei den Widderchen nicht mehr vollständig nacherfaßt werden. Schließlich sind auf der CD sowohl die vorliegende Arbeit als auch die das Untersuchungsgebiet betreffende Diplomarbeit „Biozöologische Untersuchungen an sieben Halbtrockenrasenkomplexen im Raum Heidenheim (Baden-Württemberg: Ostalbkreis)“ (WAGNER 1999) mit den genauen Artenlisten sämtlicher dort nachgewiesener Gefäßpflanzen, Wanzen etc. als PDF-Dateien gespeichert.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1 Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum**

Während sich die Jahre 1998 und 2000 durch einen besonders warmen Frühling und Frühsommer (Februar bis Juni) auszeichnen, war diese Zeit besonders 2001, aber auch 1999 relativ kühl. Dafür war hier der Hochsommer (Juli/August) sehr heiß und 2001 auch trocken.

Alle Jahre lagen bei der Temperatur etwas über dem langjährigen Durchschnitt (Tabelle 3). Besonders gilt dies für das Frühjahr von Februar bis Mai. 1999 waren allerdings Februar und März vergleichsweise kühl und 2001 der April. Der Juni war 1998 und 2000 sehr warm, 1999 und 2001 dagegen kühler. Der Monat Juli lag nur 2000 unter dem langjährigen Mittel, ansonsten darüber. Im August war es in allen Jahren ebenfalls zu warm, am wenigsten aber 1999. Besonders kalt war es im September 2001, um so wärmer dafür 1999.

Bei den Niederschlägen kam es zu größeren Schwankungen zwischen den Monaten (Tabelle 4). 1998 war insgesamt zu trocken. Nur März und Juni erhielten mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel. 1999 waren besonders Februar, Mai und Juli zu naß, aber auch der März. 2000 war insgesamt wieder zu trocken. Sehr wenig Niederschlag fiel im April und Juni,

etwas mehr im Mai und besonders Juli. 2001 schließlich waren März und September sehr naß, Mai bis August dagegen trockener als im langjährigen Mittel.

1998 schien die Sonne länger als im Durchschnitt, so im März, Mai, Juni und August (Tabelle 5). Nur der Juli und auch der September waren deutlich weniger sonnig als im Mittel. 1999 war dagegen nur der Juli sonniger. In den meisten anderen Monaten schien die Sonne dagegen weniger lang als im Durchschnitt. 2000 war es dagegen wieder umgekehrt mit viel Sonnenschein. Nur März und Juli bildeten eine Ausnahme. 2001 schließlich waren März, April, Juni und ganz besonders der September zu sonnenarm, Mai, Juli und August dagegen sonniger als im Mittel.

1998 wurden mit Ausnahme des Juli die meisten Sommertage erreicht, 1999 die wenigsten (Tabelle 6). 2000 waren besonders Juni und August an vielen Tagen sehr warm, während der Juli nur an vier Tagen die 25 ° Celsius-Marke erreichte. 2001 waren besonders der Juli und August oft sehr warm, der Juni dagegen seltener.

Der März 2002, in dem noch nach Raupen gesucht wurde, war anfangs von mäßig milder Witterung von tagsüber um 10° Celsius geprägt. Ab etwa dem 10.III. begann eine Wärmeperiode mit Temperaturen bis zu 20° Celsius. Am 21.III. wurde diese von kalter Witterung mit Schneeschauern und später Nachtfrost abgelöst. Erst ab dem 28.III. wurde es dann wieder langsam wärmer (eigene Beobachtungen).

Insgesamt wiesen die Jahre 1998 und 2000 ein wärmeres, trockeneres und sonnigeres Frühjahr (Februar bis Mai) auf als 2001 und besonders 1999. Der Juni war ebenfalls 1998 und 2000 am wärmsten, dazu 2000 auch sehr trocken und sonnenreich. Juli und August waren 2001 am heißesten und trockensten. Der Juli 2000 hingegen zeigte sich sonnenarm, kühl und naß. Der Monat September war 2001 am kältesten, dazu sehr naß und sonnenarm. Insgesamt auffallend ist eine sehr starke Abnahme der Sonneneinstrahlung im Herbst (Oktober, November). Hier werden im langjährigen Mittel im September noch 142 Stunden erreicht, im Oktober noch 80 und im November nur mehr 37. Hauptursache dafür sind neben der abnehmenden Tageslänge ganz besonders die für den Raum Heidenheim typischen, häufigen Nebeltage bei Hochdruckwetterlagen von Oktober bis Januar/Februar.

Tabelle 3: Mittlere Monatstemperaturen [Grad Celsius] 1998-2001 im Vergleich zum langjährigen Mittel. Deutscher Wetterdienst 1998-2001, Station Heidenheim/Brenz.

Jahr/Monat	1998	1999	2000	2001	langj. Mittel 1961-1990
Februar	1,7	-2	2,0	0,9	-1,1
März	5,2	3,8	4,3	5,3	2,1
April	9,4	8,3	8,2	6,2	6,4
Mai	14,6	15,1	13,3	14,3	11,2
Juni	17,9	14,0	16,6	14,4	14,4
Juli	16,9	17,2	14,9	17,3	16,1
August	17,0	15,7	16,6	17,6	15,3
September			12,6	10,3	11,8
Oktober			9,0	10,4	7,2

Tabelle 4: Monatliche Niederschläge [mm] 1998-2001 im Vergleich zum langjährigen Mittel. Deutscher Wetterdienst 1998-2001, Station Heidenheim/Brenz.

Jahr/Monat	1998	1999	2000	2001	langj. Mittel 1961-1990
Februar	15	141	76	42	67
März	68	69	103	154	62
April	47	66	33	61	67
Mai	63	116	97	43	83
Juni	99	68	20	61	98
Juli	74	105	98	44	78
August	56	77	62	41	81
September			60	113	60
Oktober			59	60	57

Tabelle 5: Monatliche Sonnenscheindauer [h] 1998-2001 im Vergleich zum langjährigen Mittel. Deutscher Wetterdienst 1998-2001, Station Heidenheim/Brenz.

Jahr/Monat	1998	1999	2000	2001	langj. Mittel 1961-1990
Februar			66	58	56
März	119	87	73	58	95
April	127	119	141	110	134
Mai	207	172	200	234	171
Juni	205	163	275	183	186
Juli	150	224	183	221	215
August	215	184	206	215	187
September	111		103	66	142
Oktober			29	81	80

Tabelle 6: Sommertage (Temperaturmaxima mindestens 25 Grad Celsius) 1998-2001. Deutscher Wetterdienst 1998-2001, Station Heidenheim/Brenz.

Jahr/Monat	1998	1999	2000	2001
Mai	8	5	5	7
Juni	12	3	14	8
Juli	5	8	4	15
August	13	8	13	13

### 3.2 Datengrundlage

Insgesamt beobachtete ich in vier Jahren 30532 Rotwiderchen-Imagines (Abb. 2c). Dabei sind sämtliche Begehungen in den Beobachtungsgebieten im Kreis Heidenheim berücksichtigt, die wenigstens ein Jahr lang regelmäßig untersucht wurden. Mit Abstand am häufigsten war *Z. filipendulae*, gefolgt von *Z. purpuralis*. Sehr selten wurden *Z. lonicerae* und *Z. ephialtes* registriert.

Entsprechend den Verpuppungsstrategien fand ich die Kokons der Arten in unterschiedlichem Ausmaß (Abb. 2b). Hohe Halmverpupper wie *Z. filipendulae*, *Z. transalpina* und eingeschränkt auch *Z. carniolica* wurden zahlreich registriert, während reine Bodenverpupper (*Z. minos*, *Z. purpuralis*, *Z. loti*) naturgemäß nicht gefunden wurden.

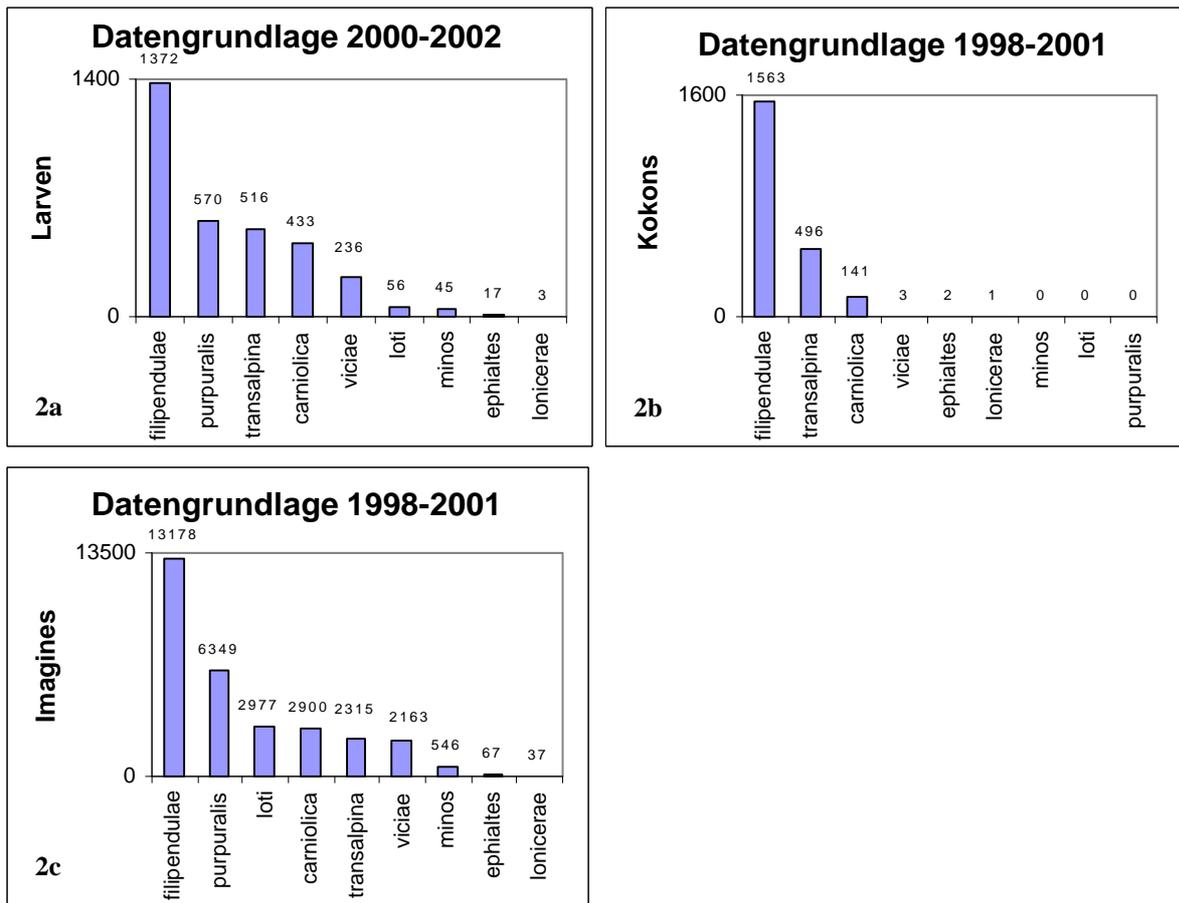


Abb. 2a-c: Gesamtzahl der bei allen Begehungen der Untersuchungsgebiete im Kreis Heidenheim festgestellten Individuen an Imagines, Raupen und Kokons der Rotwidderchen.

Insgesamt registrierte ich 3248 Rotwidderchen-Raupen. Die meisten Larven wurden von *Z. filipendulae* beobachtet (Abb. 2a), gefolgt von *Z. purpuralis*. *Zygaena transalpina*-Raupen fanden sich im Vergleich zu den Faltern überproportional häufig, *Z. loti*-Larven dagegen seltener.

### 3.3 Gesamtphänologie

Im Untersuchungsgebiet erschienen frühe Arten ab Juni bis Ende Juli, mittelspäte von Anfang Juli bis Mitte August und späte von Mitte Juli bis in den September. Insgesamt dauerte die Flugzeit einer Art an einem bestimmten Fundort umso länger, je individuenreicher die dortige Population war. War diese sehr schwach, wurden oft nur an wenigen Tagen Individuen angetroffen.

Bei den Phänogrammen, die alle vier Jahre zeigen, ist zu beachten, daß 1998 und 1999 nur sieben Gebiete begangen wurden, während es in den Folgejahren 26 bzw. 30 waren.

#### 3.3.1 *Zygaena minos* und *Z. purpuralis*

Da die Frage einer phänologischen Trennung der beiden als Falter äußerlich nicht unterscheidbaren, nahe verwandten Arten bei syntopem Vorkommen bislang sehr kontrovers diskutiert wurde, soll hierzu eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse von der Ostalb erfolgen.

1999 lagen nur wenige genitalüberprüfte Nachweise von *Z. minus* von der Hirschhalde (25.VI.; 2.VII.), vom Wartberg (1.VII.) und dem Eselsburger Tal (1.VII.) vor (WAGNER 1999). Während an den ersten beiden Fundorten zu diesem Zeitpunkt noch keine *Z. purpuralis* gefunden wurden, waren im Eselsburger Tal neben einem abgeflogenen *Z. minus*-M auch bereits erste ganz frische *Z. purpuralis* zu beobachten (GU-überprüft). Letztere Art flog dann anschließend bis Mitte August.

Aus den Jahren 2000 und 2001 liegen dank der Erweiterung der Untersuchungsgebiete nun umfangreiche Daten auch zu den Präimaginalstadien vor, die diese Flugzeitentrennung aufgrund eines früheren Erscheinens von *Z. minus* bestätigen. 2001 ergaben sich weitere Erkenntnisse aus dem Markierungsexperiment im Lindletal (vgl. 3.10).

### ***Zygaena minus***

Überwinterte Raupen von *Z. minus* wurden vom 13.III.2002 über den 8.IV.2001 bis Ende Mai beobachtet (insgesamt 45 Tiere). Dabei waren sie zu jedem Zeitpunkt deutlich größer als die parallel gefundenen Larven des Thymian-Widderchens (Abb. 3b). So maßen *Z. minus*-Raupen am 13.III.02 bei Gerstetten 5-5,5 Millimeter gegenüber 2,5-4 (Ramenstein 10.III.02, 13.III.02) bei *Z. purpuralis*, wobei sich alle Tiere im ersten Stadium nach der Diapause befanden. Am 8.IV.01 waren Raupen von *Z. minus* am Ramenstein acht Millimeter lang und von *Z. purpuralis* vier bis fünf Millimeter (Farbtafel 4a). Ab Anfang Mai befanden sich die *Z. minus*-Larven im letzten oder zumindest vorletztem Häutungsstadium (Farbtafel 4b). Drei letzte ganz ausgewachsene Raupen fand ich am 24.V.01 am Stürzlesberg.

Die Imagines erschienen 2000 bereits am 10.VI. und flogen bis in die erste Juli-Woche (nur mehr abgeflogene Falter) mit größter Abundanz vom 20.-25.VI. (Abb. 3a). 2001 dagegen waren erst am 20.VI. erste MM an den xerothermsten Fundstellen anzutreffen. Dafür zog sich die Flugzeit in diesem Jahr bis nach Mitte Juli (letzter Fund: 22.VII.01, stark abgeflogen), wobei die höchste Abundanz erst um den 1.VII. erreicht wurde. Insgesamt war *Z. minus* das im Gebiet am frühesten erscheinende Widderchen und fand sich meist bereits einige Tage vor *Z. loti* am selben Fundort.

Beim nur 2001 untersuchten Fundort Steinental (Gerstetten), der einzigen Stelle, an der *Z. minus* häufiger als *Z. purpuralis* war, fand ich erste Falter bereits am 13.VI.01, also eine Woche früher als an den anderen Fundorten. Hier waren am 11.V.01 einige verpuppungsreife Raupen zu beobachten. Das Abundanzmaximum lag im letzten Junidrittel (Abb. 5a). Letzte abgeflogene Tiere wurden am 12. Juli registriert.

Die Flugzeit dauerte im jeweiligen Biotop meist nur maximal vier Wochen, bei hoher Abundanz (Steinenfeld) bis fünf Wochen. Bei geringer Abundanz waren die Tiere aber auch gebietsweise nur wenige Tage anzutreffen.

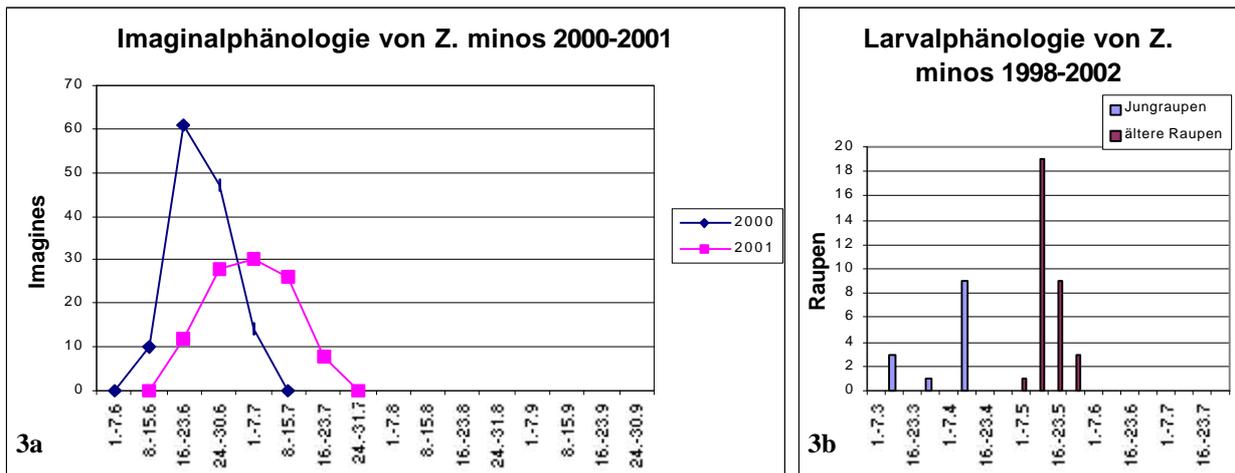


Abb. 3a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. minus* 2000-2002 im Untersuchungsgebiet. Bei Abb. 3a wurde das nur 2001 begangene Gebiet Steinfeld nicht berücksichtigt (siehe Abb. 5a).

### *Zygaena purpuralis*

Auch beim Thymian-Widderchen wurden die ersten überwinterten, wieder aktiven Raupen ab März (10.III.2002: drei bis vier Millimeter) gefunden (Abb. 4b). Sie befanden sich Mitte März kurz nach der Häutung aus der Diapause und am 2. und 3.IV.01 (Ramenstein) am Ende des ersten Nachdiapausestadiums mit gelblich-weißgrauer Färbung. Am 6. April hatten sie bereits das zweite Nachüberwinterungsstadium erreicht bei dunkelgrauer Färbung kurz nach der Häutung. Auch am 8. April konnte noch eine dunkle, frisch gehäutete Raupe gefunden werden, während die anderen bereits etwas gewachsen (5,5 mm) und heller waren. Die Raupen waren aber stets deutlich kleiner als die von *Z. minus* zum jeweils gleichen Zeitpunkt (Tafel 4a-b). Erste ganz ausgewachsene Tiere wurden nicht vor Anfang Juni beobachtet. Besonders häufig waren sie gegen Mitte des Monats. Letzte Larven fanden sich bis Mitte Juli (17.VII.01). Ein Einzelfund einer ausgewachsenen Raupe datiert vom 9.VIII.01. Jungraupen vor der Überwinterung fanden sich Ende August (21.VIII.01) und besonders Mitte September bis Anfang Oktober durch Schütteln mit der Hand in Thymian-Polstern.

Der Flugzeitbeginn lag 2000 bereits Ende Juni (27.VI., Benzenberg; 28.VI., Ramenstein), während 1999 und 2001 erst ab Juli (4.VII.00, Eschklinge; 9.VII.00, Ramenstein) Falter auftraten. Die Abundanzmaxima wurden dann in der zweiten Julihälfte bis Anfang August erreicht (Abb. 4a). Das absolute Flugzeitende wird durch letzte Falter am 1.IX.00 markiert (Ramenstein, Hetzenäcker). Die Verschiebung zwischen den Jahren 1998 und 2000 einerseits und 1999 und 2001 andererseits beträgt rund eine Woche. Die Flugzeit dauerte meist fünf bis sechs Wochen in einem Biotop und war nur bei geringer Populationsstärke kürzer, zum Teil bis wenige Tage.

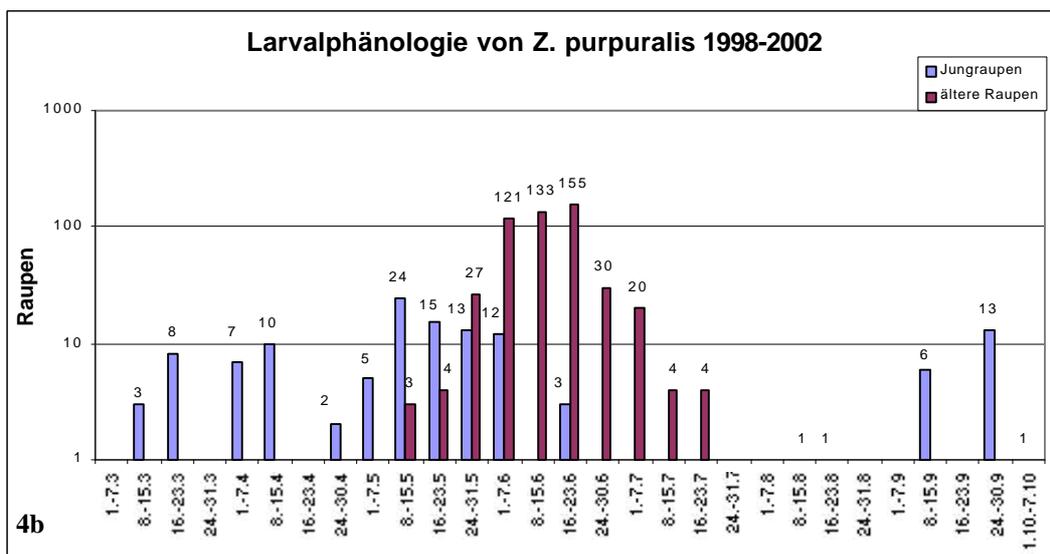
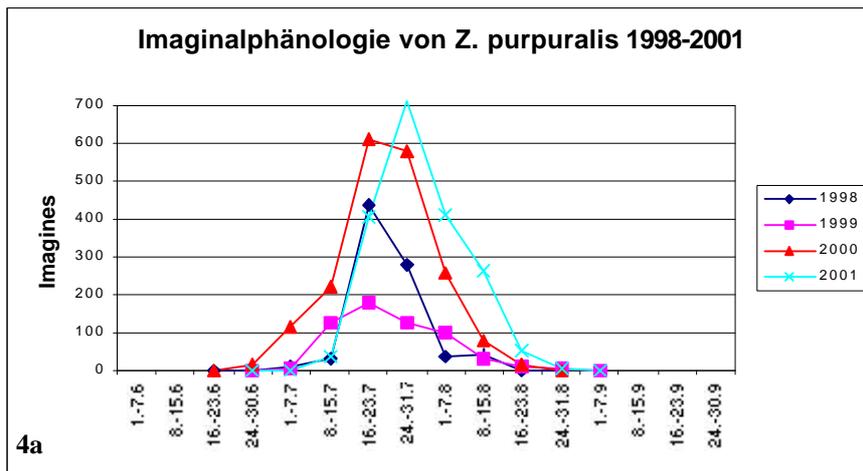


Abb. 4a-b: Imaginalphänologie und Larvalphänologie von *Z. purpuralis* 1998-2002. Bei Abbildung 4b wurde eine logarithmische Skalierung verwendet. Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

Die Überschneidung in der Flugzeit der beiden Schwesterarten betrug insgesamt etwa zwei bis drei Wochen. Betrachtet man nur einen einzelnen Fundort, so war diese Periode kürzer (Abb. 5). Dabei flog zunächst für ca. drei Wochen nur *Z. minos*, dann folgte die ein- bis zweiwöchige Überschneidungsphase und danach flog *Z. purpuralis* für vier oder fünf Wochen alleine. Die Überschneidungszeit war geprägt durch alte, mehr oder weniger stark abgeflogene *Z. minos* (häufig WW) und frische *Z. purpuralis*-MM (vgl. 3.10). Der Zeitraum vom Erscheinen ausgewachsener Raupen bis zum Flugzeitbeginn betrug rund vier Wochen. Insgesamt wies *Z. minos* eine geringere Streuung in der Entwicklung auf als *Z. purpuralis*. So waren die Raupen bei ersterer Art zur selben Zeit weitgehend einheitlich groß (z.B. am 9.IV.02, Steinenfeld) und im ausgewachsenen Zustand nur etwa 14 Tage lang nachweisbar.

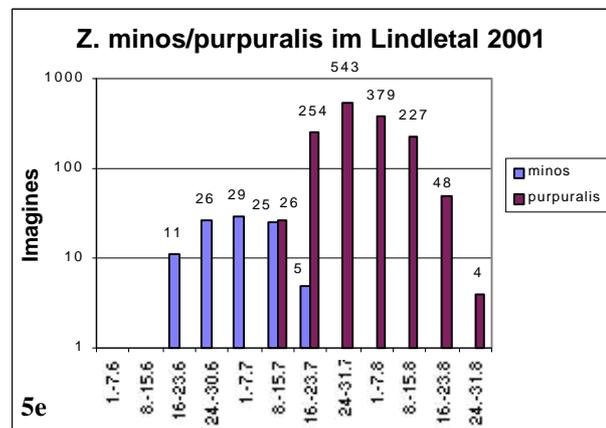
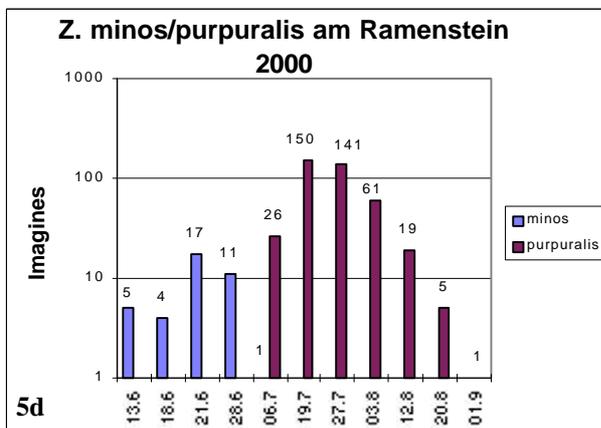
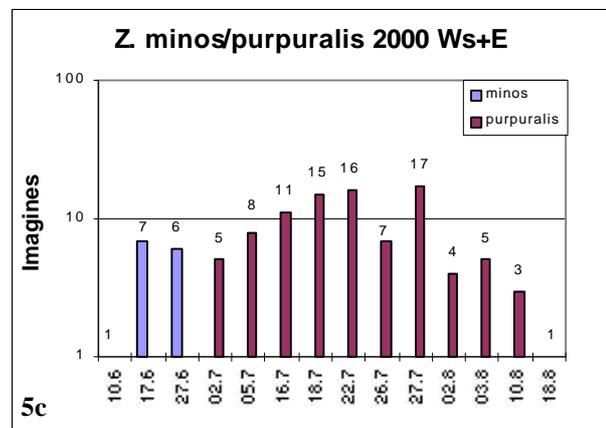
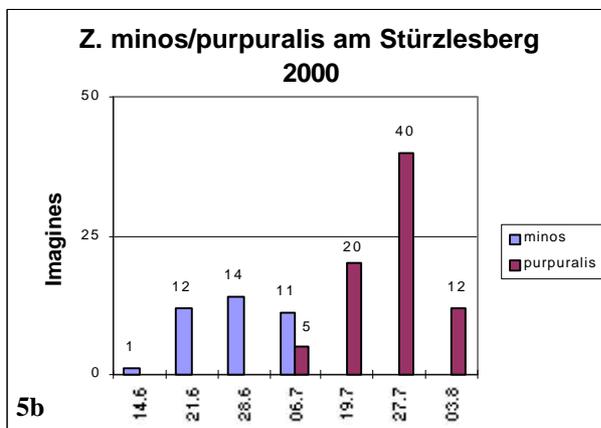
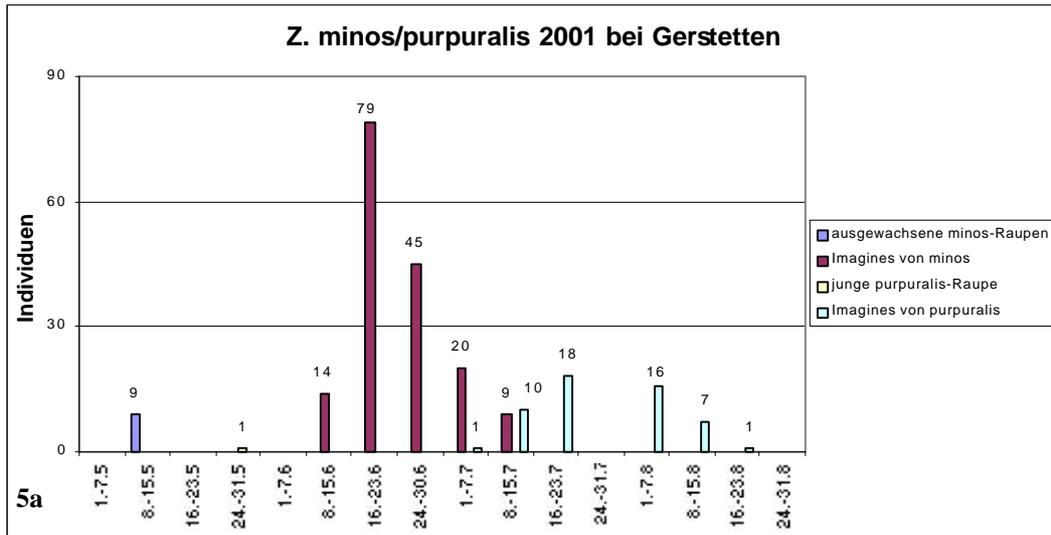


Abb. 5a-e: Vergleich der Phänologie von *Z. minos* und *Z. purpuralis* bei Gerstetten (Steinfeld) 2001 (a), am Stürzlesberg 2000 (b), an Wartberg und im Eselsburger Tal 2000 (c), am Ramenstein 2000 (d) sowie im gesamten Lindletal 2001 (e). Bei den Abbildungen b-d sind die tagesgenauen Begehungstermine angegeben, bei a und e dagegen eine Zusammenfassung zu Wochen. Bei den Diagrammen c-e wurde eine logarithmische Skalierung verwendet.

### 3.3.2 *Zygaena loti*

In Jahren mit warmem Frühjahr (1998, 2000) erschien die Art bereits zu Beginn des zweiten Junidrittels, andernfalls gut 10 Tage später. Die Abundanzmaxima wurden im ersten Fall bereits Ende Juni/Anfang Juli erreicht (Abb. 6a), im zweiten um Mitte Juli. Die letzten Funde

datieren von der ersten Augustwoche (abgeflogen). 2001 konnte aber am Stürzlesberg am 9.VIII. (ganz frisch) und 17.VIII. (mäßig abgeflogen) je ein M beobachtet werden. Die Flugdauer war mit gut sechs Wochen in einem Jahr an individuenreicheren Fundorten recht lang. Insgesamt war die Art im Untersuchungsgebiet acht bis neun Wochen lang zu finden.

Raupen wurden ab dem 23.III.02 gefunden (Hirschhalde) und waren noch im ersten Stadium nach der Diapause (3,2-4,5 mm Länge). 2001 wurden die ersten Tiere ab April (8.IV.01, Anhausen: 4-6 mm) beobachtet (Abb. 6b). Sie waren meist bereits im Laufe des Mai ausgewachsen. Letzte Tiere wurden bis etwa Mitte Juni gefunden (15.VI.01, Wartberg).

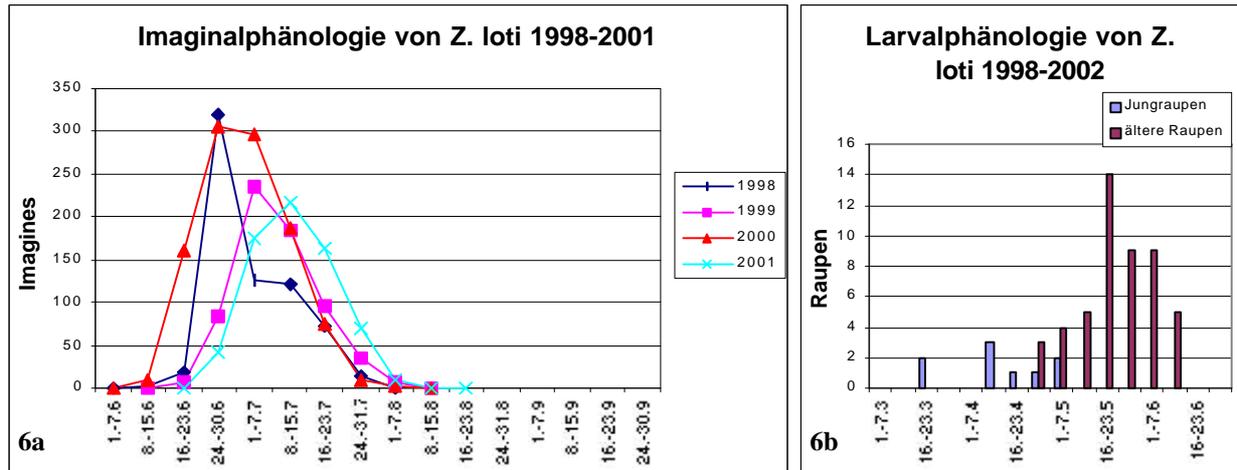


Abb. 6a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. loti* 1998 bis 2002. Der Wert der Woche vom 8.-15.7.2000 ist aus dem Mittel der beiden Nachbarwerte gebildet (witterungsbedingt kaum Begehungen; vgl. 2.3.2). Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

### 3.3.3 *Zygaena viciae*

Die Art erschien sehr konstant in der letzten Juni- (besonders 2000) bzw. ersten Juliwoche. Das Abundanzmaximum wurde um Mitte Juli erreicht (Abb. 7a). Funde waren dann noch bis Ende August möglich (25.VIII.00; Geißkancel). Der Falter flog somit fast exakt zeitgleich zu *Z. purpuralis*. Insgesamt dauerte die Flugzeit am einzelnen Fundort etwa vier bis fünf Wochen. Bei hoher Abundanz wurde sie in einzelnen, kühleren Gebieten (Geißkancel, Anhausen, Mühlhalde) jahrweise (2000) durch Nachzügler im August auf bis fast acht Wochen ausgedehnt. In Jahren mit sehr warmem Frühjahr lag die Flugzeit insgesamt um ein bis zwei Wochen früher.

Jungraupen nach der Überwinterung wurden ab Ende April (28.IV.01: 4,5-9 mm; 26.IV.99) gefunden (Abb. 7b). Sie sind dann Ende Mai und besonders in den ersten beiden Junidekaden im letzten Stadium zu beobachten. Der letzte Nachweis datiert dann schon vom 25.VI. (1999, 2001).

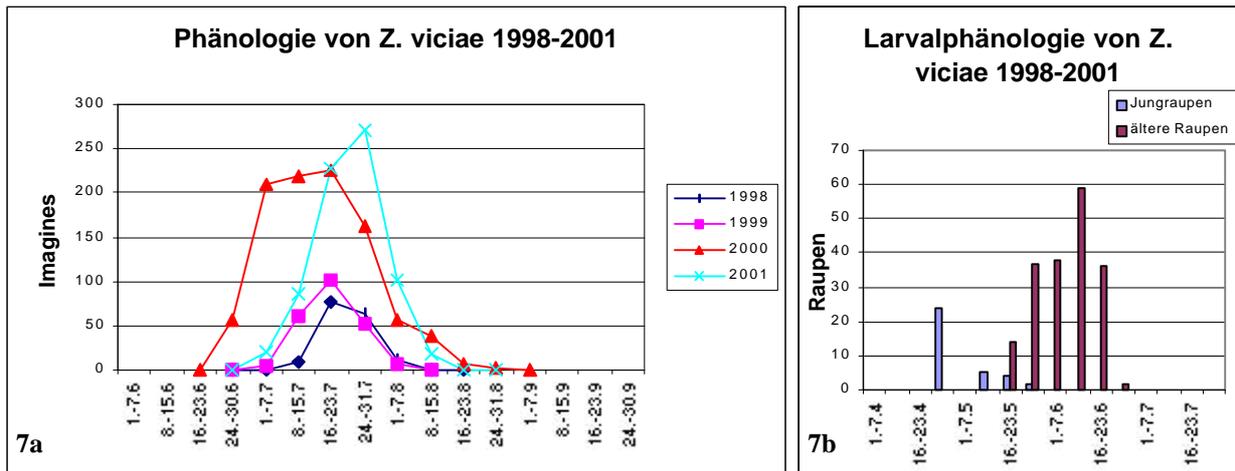


Abb. 7a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. viciae* 1998-2001. Der Wert der Woche vom 8.-15.7.2000 ist aus dem Mittel der beiden Nachbarwerte gebildet (witterungsbedingt kaum Begehungen; vgl. 2.3.2). Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

### 3.3.4 *Zygaena lonicerae* und *Z. ephialtes*

Die beiden Arten waren die seltensten Widderchen im Untersuchungsgebiet. Beide erreichten die Abundanzmaxima in der zweiten Julihälfte (Abb. 8). *Zygaena lonicerae* war die geringfügig früher erscheinende Art und flog in warmen Jahren (2000) bereits in der letzten Juniwoche, während *Z. ephialtes* erst Anfang Juli (2000) erschien. Letztere hatte nur eine recht kurze Flugzeit von drei bis maximal vier Wochen. Die phänologisch spätesten Nachweise lagen bereits in der ersten Augustwoche. Ausgewachsene Raupen wurden bei beiden Arten besonders Anfang bis Mitte Juni registriert, einige wenige jüngere im Mai.

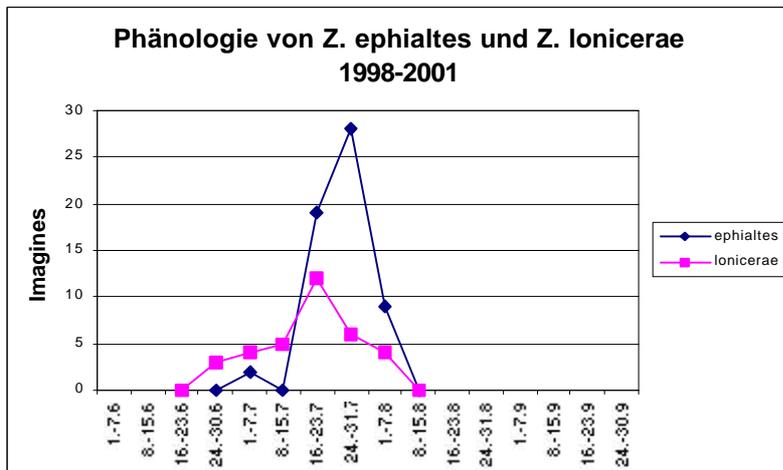


Abb. 8: Summenphänogramm von *Z. lonicerae* und *Z. ephialtes* von 1998-2001.

### 3.3.5 *Zygaena carniolica*

Das Esparsetten-Widderchen erschien um Mitte Juli, nur in heißen Jahren (2000) bereits in wenigen Exemplaren Anfang des Monats (5.VII., Benzenberg). Die größten Abundanzen wurden Ende Juli bis Anfang August, am Wartberg bis Mitte August erreicht (Abb. 9a). Am

Wartberg flogen letzte abgeflogene Falter 2000 noch an den ersten Septembertagen. Zwischen den Jahren sind nur geringe Unterschiede erkennbar, abgesehen von den besonders frühen und späten Tieren Anfang Juli und September 2000.

Bereits am 23.III.02 und 31.III.02 fanden sich an einer xerothermen und sehr lückig bewachsenen Böschung (Hirschhalde) erste, überwinterte Raupen kurz nach der Diapausehäutung (3-4 mm Länge). 2001 wurden Larven in ähnlicher Größe (3-4,5 mm) erst ab Mitte April (17.IV.01, Hirschhalde; 20.IV.01, Wartberg) gefunden. Ab Anfang Mai beobachtete ich keine frisch aus der Diapause gehäuteten Tiere mehr. Ausgewachsen waren die Larven dann ab Ende Mai und besonders im Juni. Letzte Tiere wurden am 4. und 10.VII.01 registriert (Wartberg). Interessanterweise fand ich am 5.IX.98 eine einzelne, fast ausgewachsene Raupe an der Rappeshalde. Kokons fanden sich vereinzelt, aber regelmäßig, von Ende Juni bis Ende Juli mit Maximum Anfang bis Mitte Juli an Halmen, besonders Fruchtständen von Gräsern und Esparsette. Raupen vor der Überwinterung wurden vom 13.IX.01 (Hirschhalde: mehrere L2- bis L3-Larven; Wartberg: mehrere L1 und L2) bis 26.IX.01 (Hirschhalde: 9 L3 mit 4,5 mm Länge, 4 vermutliche L3 mit gut 3 mm; Wartberg; Benzenberg) gefunden.

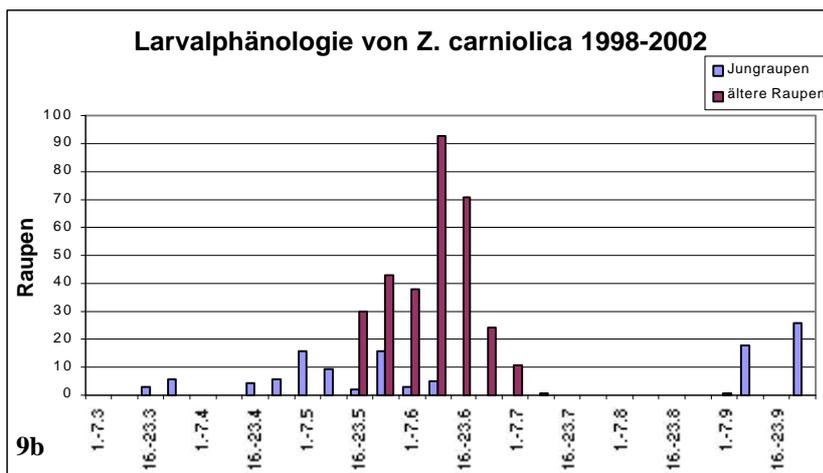
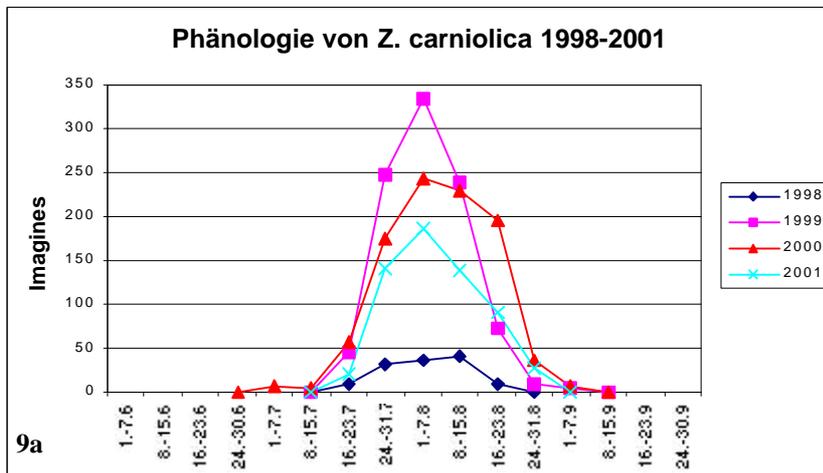


Abb. 9a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. carniolica* 1998-2002. Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

### 3.3.6 *Zygaena transalpina*

Die Flugzeit des Hufeisenklee-Widderchens begann meist nach Mitte Juli (16.-23.vii.). Die maximalen Individuenzahlen wurden Mitte August beobachtet (Abb. 10a). Mitte September registrierte ich die letzten Tiere (17.IX.99, Hirschhalde). Besonders 2001 kam es Anfang September zu einem starken Einbruch, so daß in der zweiten Septemberwoche kein einziges Individuum mehr gefunden wurde, obwohl die Art ein bis zwei Wochen vorher noch häufig war. Nur von 2000 liegen zwei frühere Falterfunde vor. So flog ein einzelnes M am Irpfl-Südhang bereits am 27.vi.00. Die nächsten Daten liegen von dort erst ab August vor. Am 5.vii.00 fand sich an der Hirschhalde ebenfalls ein einzelnes M. Auch hier begann die allgemeine Flugzeit erst Ende Juli (29.vii.00). Ansonsten waren die Schwankungen zwischen den Jahren gering.

Eine erste überwinterte, wieder aktive Jungraupe (gut 4,5 mm) wurde am 24.IV.01 am Wartberg aus *Hippocrepis* geschüttelt. Weitere Junglarven fanden sich den ganzen Mai (12.v.01: 6 mm; 20.v.01: 7-8 mm) und besonders Juni. Ab Mitte Juni kamen dann auch größere hinzu. Die Hauptzeit verpuppungsreifer Larven war der Juli (Abb. 10b). Letzte Tiere wurden zusammen mit Faltern Anfang August registriert (2.viii.00, 3.viii.00, 2.viii.01). Kokons an Grashalmen, *Anthericum*-Stengeln, niedrigen Sträuchern und ähnlichem beobachtete ich sehr häufig von Ende Juni bis Ende August, mit starkem Schwerpunkt um die Monatswende Juli/August.

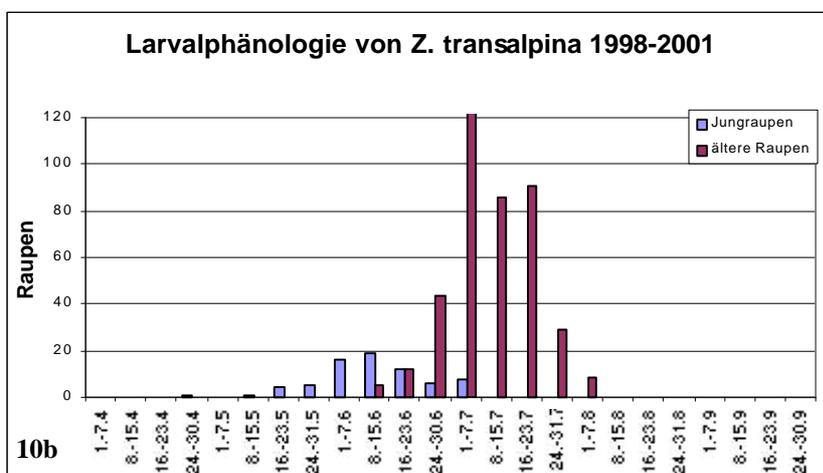
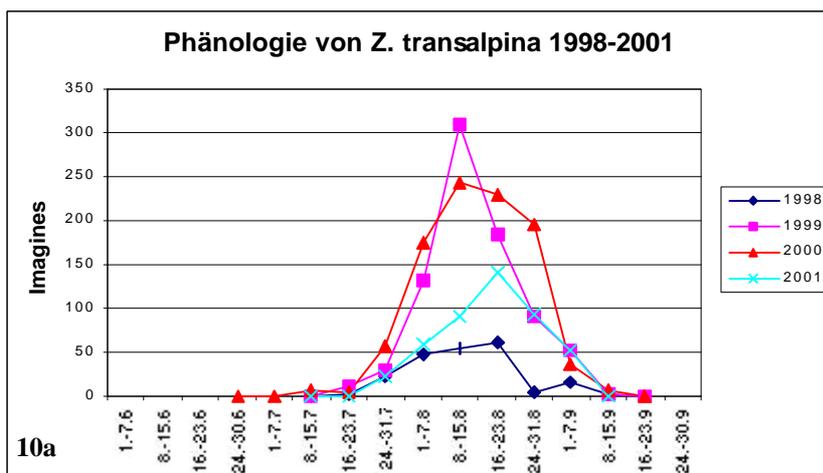


Abb. 10a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. transalpina* 1998-2001. Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

### 3.3.7 *Zygaena filipendulae*

Die Phänologie von *Z. filipendulae* war ähnlich der von *Z. transalpina*. Meist erschienen die ersten Falter Mitte Juli (1998, 1999, 2001). Die größten Abundanzen wurden auch hier im August erreicht (Abb. 11a). Das absolute Flugzeitende war aber im Vergleich zu *Z. transalpina* nach hinten verschoben, die Gesamtflugzeit ausgedehnter. So flog die Art 1998-2001 bis Ende September. Noch am 14.x.00 (Hetzenäcker) entdeckte ich einen frischen Falter (nicht im Phänogramm enthalten). Im warmen Jahr 2000 waren ähnlich wie bei *Z. transalpina* Falter schon ab Ende Juni unterwegs (28.vi., Bläßhalde; 30.vi., Mühlhalde; 1.vii., Knillberg; 6.vii., Stürzlesberg). Diese frühen Falterfunde stammen ausschließlich aus dem kühleren Norden des Kreises Heidenheim und da teils aus mesophileren Lebensräumen. In der Hauptflugzeit sind nur geringe Unterschiede zwischen den Jahren auszumachen. Interessanterweise war diese 2000 nicht früher, sondern eher nach hinten zeitlich ausgedehnter.

Raupen fand ich meist erst ab Mai (Abb. 11b). Das früheste Datum ist der 23.iii.02 (Hirschhalde, eine knapp 4 mm lange Larve im xerothermsten Bereich). 2001 wurde die erste Raupe erst am 14.iv.01 (Ramenstein) registriert. Dabei handelte es sich um eine relativ große (6 mm lang), frisch aus der Diapause gehäutete Larve (noch glasig-gelblich), die auf Moos herumkroch. Am 24.iv.01 (Anhausen) wurde aus Moos an der Basis eines Esparsettenhorstes eine noch in Diapause befindliche Larve geschüttelt, die knapp 6 mm lang war. Sie häutete sich am 28. April, um nach nur einem Freßstadium am 11. Mai wieder in Diapause zu gehen.

Die nächsten, teils frisch aus der Diapause gehäuteten Tiere wurden dann erst ab dem 10. Mai gefunden. Diese waren mit etwa vier bis knapp sechs Millimetern deutlich kleiner und besonders auch dünner, also mindestens ein Freßstadium vor den anderen beiden vom Ramenstein bzw. aus Anhausen. Gleichzeitig waren seltener auch einzelne Raupen von ca. 8 mm Länge zu beobachten, die in der Größe mit den beiden Aprilfunden korrelierten. Kleine, grüne Raupen von etwa sechs Millimeter Länge wurden bis Mitte Juni (18.vi.00, Erbisberg) registriert, zusammen mit Tieren von 7-12 mm Größe.

Erste Raupen waren bereits bis Mitte Juni verpuppungsreif (7.vi.00; Südliche Bläßhalde; 16.vi.00, Hungerbrunnental: bereits im Kokon). Häufiger waren Tiere im letzten Stadium dann von den letzten Junitagen bis zur ersten Augustwoche. Einzelfunde ausgewachsener Tiere stammen vom 18.viii.00 (Wartberg), 25.viii.00 (Hetzenäcker) und 19.ix.00 (Hetzenäcker). Kokons beobachtete ich sehr zahlreich von Ende Juni bis Ende September mit einem Maximum Mitte Juli bis Mitte August. Junglarven vor der Überwinterung wurden von Mitte September (13.ix.01; Erbisberg und Hohler Stein: mehrere L2 von gut drei Millimeter Länge; Wartberg: mehrere L1 und L2) über Ende September (26.ix.01; Benzenberg: mehrere Ende L1, 2 mm) bis Ende Oktober (27.x.01; Benzenberg, L1, 2 mm; aus *Lotus* geschüttelt) nachgewiesen.

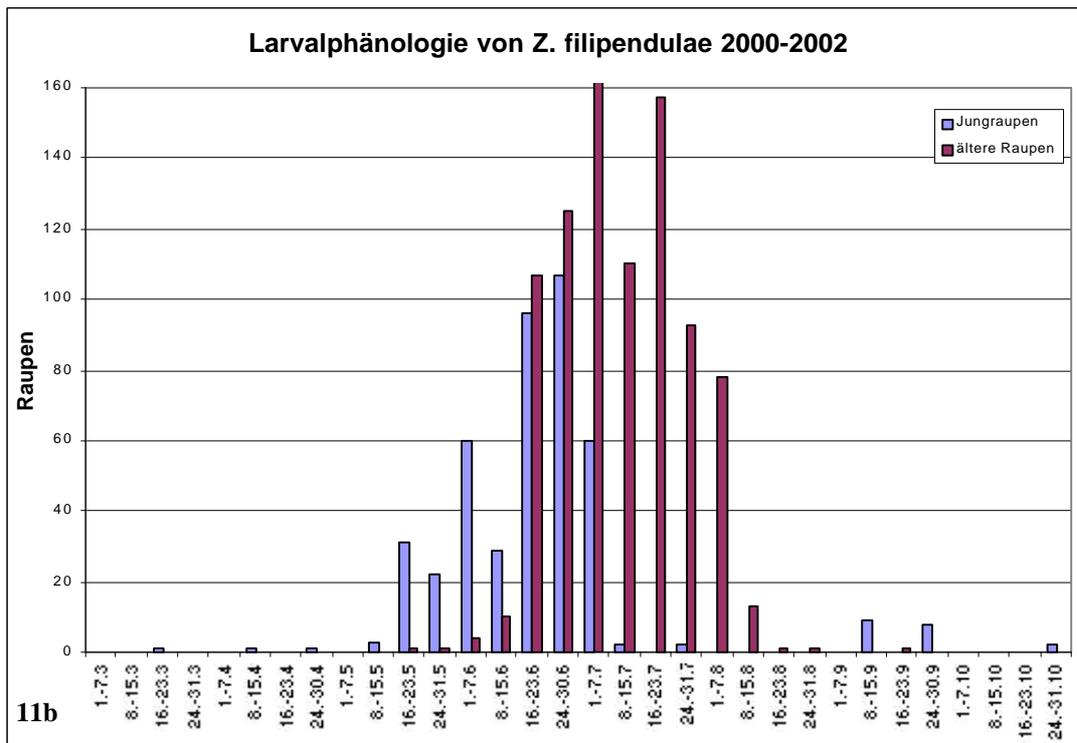
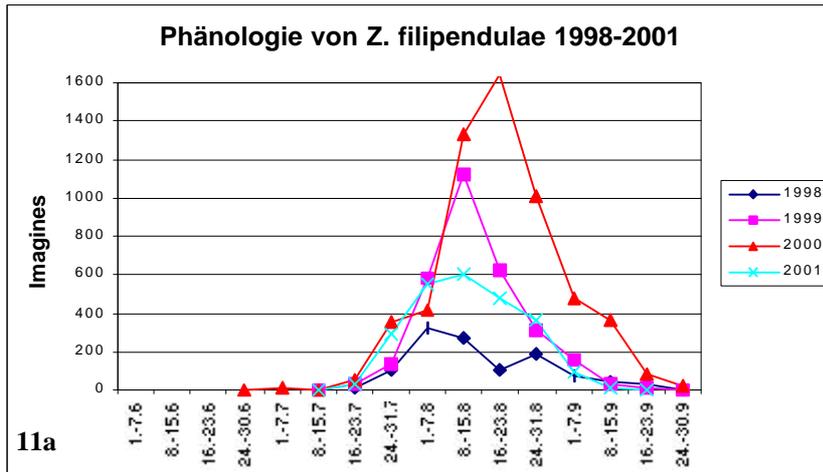


Abb. 11a-b: Imaginal- und Larvalphänologie von *Z. filipendulae* 1998-2002. Für 1998-1999 lagen sieben Gebiete zugrunde, für 2000-2001 um 26.

### 3.4 Abundanz und Dominanz in den einzelnen Gebieten

#### 3.4.1 Untersuchungsgebiete 1998-2001

Insgesamt nahmen die Gesamtabundanzen in den meisten Gebieten von 1998 nach 1999 zu, um dann kontinuierlich abzusinken. Dabei waren *Zygaena loti* und *Z. purpuralis* 1998 am häufigsten und nahmen danach stetig ab, während bei *Z. filipendulae*, *Z. carniolica* und *Z. transalpina* erst 1999 und stellenweise 2000 die Abundanzmaxima erreicht wurden. Die stärkste Zunahme wurde bei *Z. carniolica* am Wartberg von 1998 nach 1999 mit mehr als dem Zwanzigfachen registriert. Ansonsten lag der Faktor einer Zu- oder Abnahme zwischen zwei Jahren meist höchstens bei sechs, oft noch deutlich niedriger.

An der Hirschhalde wurde mit insgesamt knapp 4300 Imagines die nach dem Wartberg zweitgrößte Individuenzahl in den vier Jahren registriert. Dabei stieg die Jahresgesamtindividuenzahl von 1998 nach 1999 sehr stark an, um dann im Folgejahr erheblich sowie 2001 etwas schwächer abzufallen (Abb. 12b). Besonders hiervon betroffen sind *Z. transalpina* und *Z. filipendulae*, die beide 1999 in erheblich größerer Individuendichte als in den anderen Jahren vorhanden waren (Abb. 12a). Entgegen dem allgemeinen Trend nahm *Z. purpuralis* im Untersuchungszeitraum kontinuierlich leicht zu. *Zygaena carniolica* erreichte den Spitzenwert erst 2000 und wurde dann im Jahr darauf wieder deutlich seltener (knapp 25 % weniger Tiere). *Zygaena ephialtes* fand ich 1998 und 1999 (insgesamt 21 Falter) deutlich zahlreicher als in den beiden Folgejahren (3 Falter).

Hier waren die Dominanzverhältnisse recht ausgeglichen (Abb. 13a). *Zygaena filipendulae* hatte mit 26 % den größten Anteil, doch insgesamt sind sechs Arten mit größeren Anteilen von 9 bis 17 % vertreten. 1999 allerdings waren *Z. transalpina* und *Z. filipendulae* dank ihrer hohen Abundanzen mit zusammen rund 60 % Anteil an der Gesamtindividuenzahl die dominierenden Arten.

Am Moldenberg (insgesamt 1838 Individuen) verringerte sich die beobachtete Gesamtindividuenzahl seit 1998 durchgehend (Abb. 12d). Besonders stark war der Einbruch von 1998 nach 1999, was hauptsächlich durch den starken Rückgang von *Z. purpuralis* bedingt war (Abb. 12c). Aber auch *Z. loti*, *Z. viciae* und seit 1999 *Z. filipendulae* wurden immer seltener. In diesem Zusammenhang interessant ist eine Kurzbegehung Ende Juli 1997, bei der *Z. purpuralis* sehr häufig beobachtet wurde und folglich mindestens 1997 und 1998 abundant war.

Insgesamt war hier in den vier Jahren *Z. loti* mit 45 % dominant (Abb. 13b). Auch *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae* sowie – bereits sehr eingeschränkt – *Z. viciae* erreichten nennenswerte Anteile. Alle anderen Arten spielten mengenmäßig keine Rolle.

An der Arphalde (insgesamt 526 Widderchen-Imagines) stiegen die Individuenzahlen von 1998 bis 2000 linear an (Abb. 12f), um dann im Folgejahr stark abzufallen. Dies betrifft sämtliche Arten. Nur *Z. transalpina* erreichte ihr Maximum bereits 1999 (Abb. 12e). Den größten Anteil an der Gesamtindividuenzahl hat *Z. filipendulae* mit 61 % (Abb. 13c). Die anderen Arten schwanken um 10 %, wobei *Z. carniolica* noch am individuenreichsten war. *Zygaena ephialtes* und *Z. lonicerae* fanden sich nur in Einzelindividuen.

An der Rappeshalde (543 Individuen) stieg die Individuenzahl von 1998 auf 1999 an, um danach in allen Folgejahren abzufallen (Abb. 12h). Besonders stark war der Rückgang 2001. Diese Entwicklung ist auf die mit jeweils über 40 % Anteil etwa gleich häufigen *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae* zurückzuführen (Abb. 12g), in geringem Maß auch auf *Z. transalpina*. *Zygaena carniolica* wurde stetig seltener und war 2001 kaum mehr zu finden (ein Falter und eine Raupe). *Zygaena loti* und *Z. viciae* wurden weitgehend nur 1998 nachgewiesen und scheinen seither verschwunden.

*Zygaena purpuralis* und *Z. filipendulae* wiesen ungefähr die gleichen, starken Anteile an der Gesamtindividuenzahl auf (Abb. 13d). Nur 1998 war letztere Art deutlich seltener. Die anderen Arten liegen unter 10 %.

Am Kunigundenbühl (insgesamt 591 Imagines) wurde ebenfalls 1999 ein Maximum der Gesamtindividuenzahl erreicht (Abb. 12j), im Jahr darauf bereits das Minimum. Dies beruht hauptsächlich auf der mit 61 % dominierenden Art *Z. transalpina* (Abb. 13e; 12i). *Zygaena filipendulae* nahm dagegen kontinuierlich zu, so daß sie 2001 in ihrer Häufigkeit bereits vergleichbar mit dem Hufeisenklee-Widderchen war, wenn sie auch insgesamt nur auf

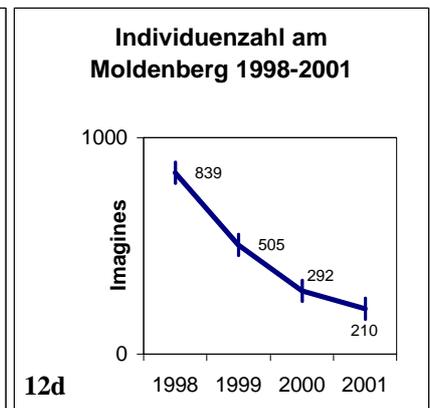
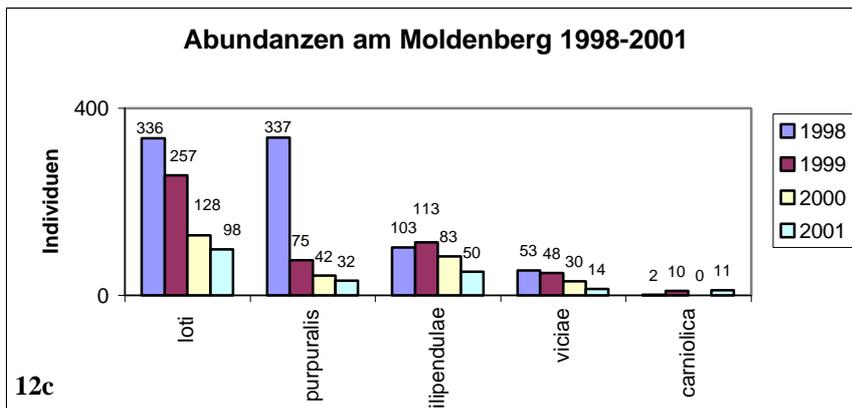
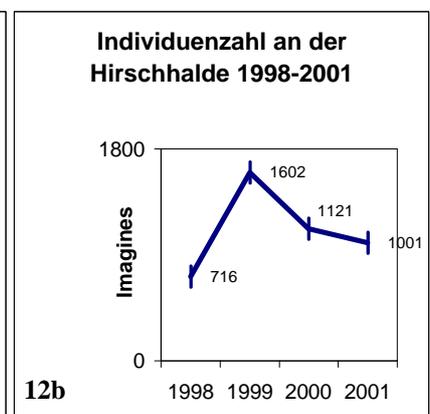
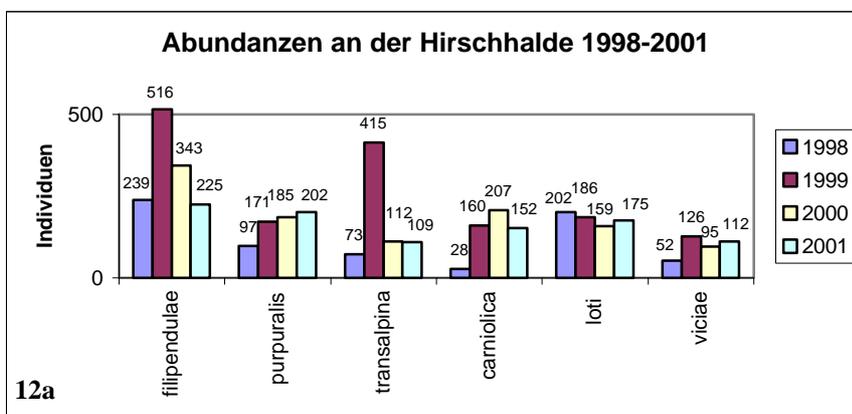
27 % Anteil kommt. *Zygaena purpuralis* und *Z. ephialtes* fand ich in den Jahren 2000 und 2001 kaum mehr.

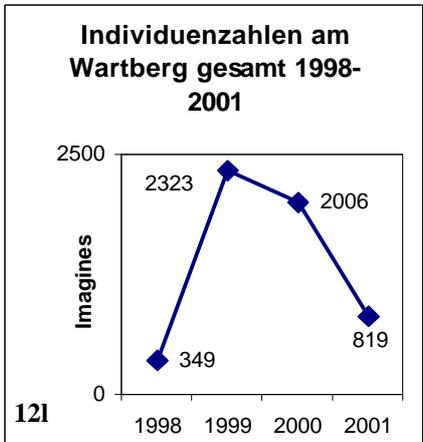
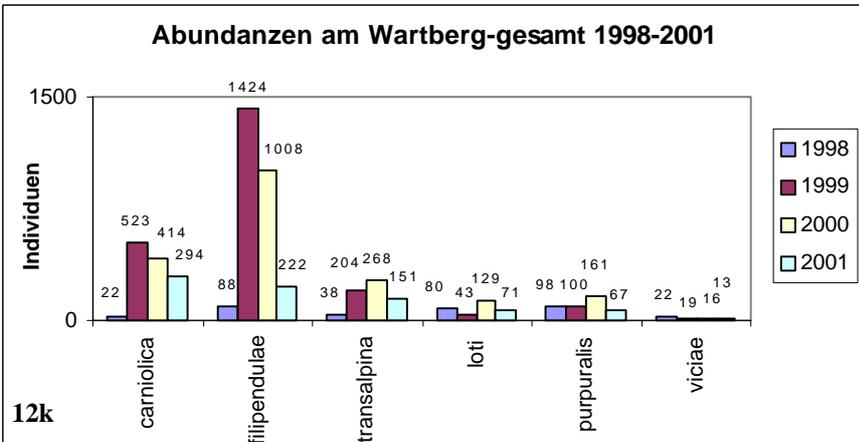
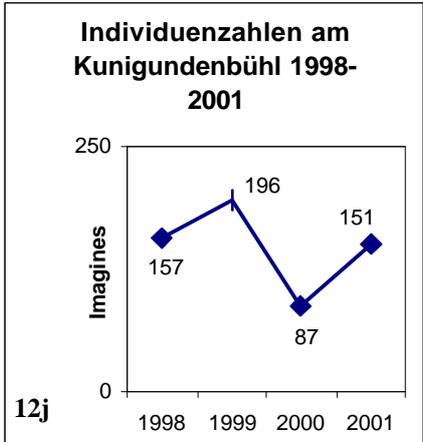
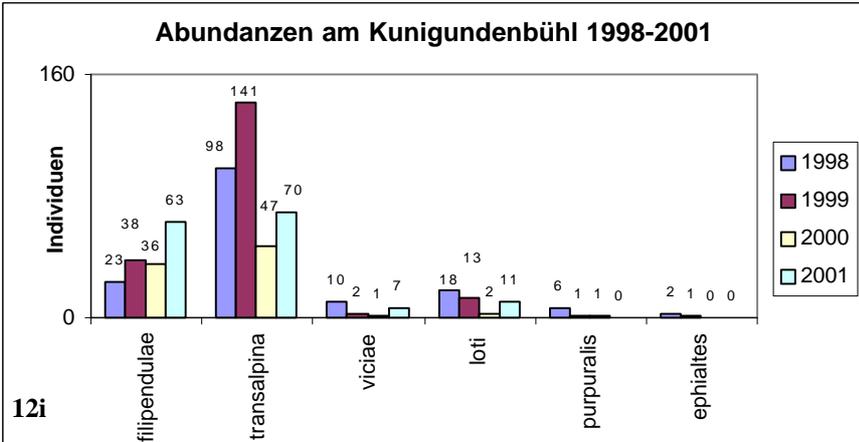
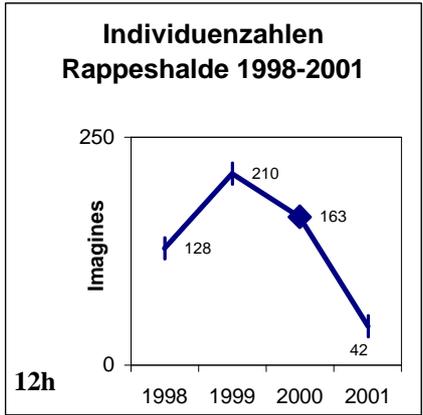
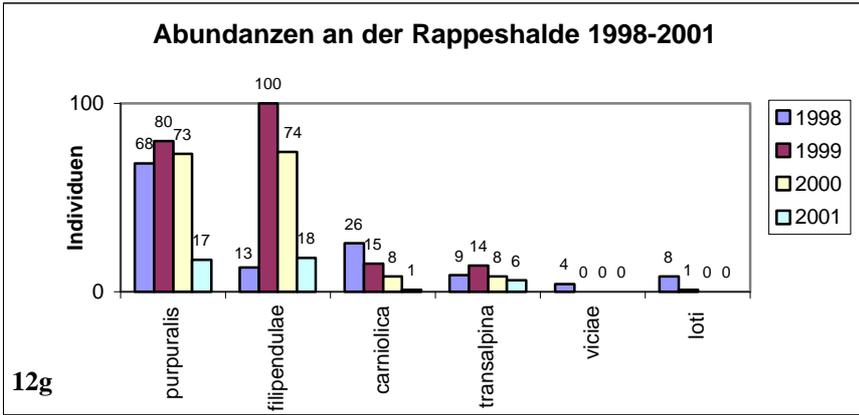
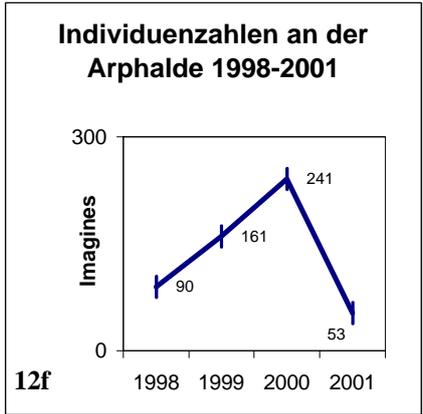
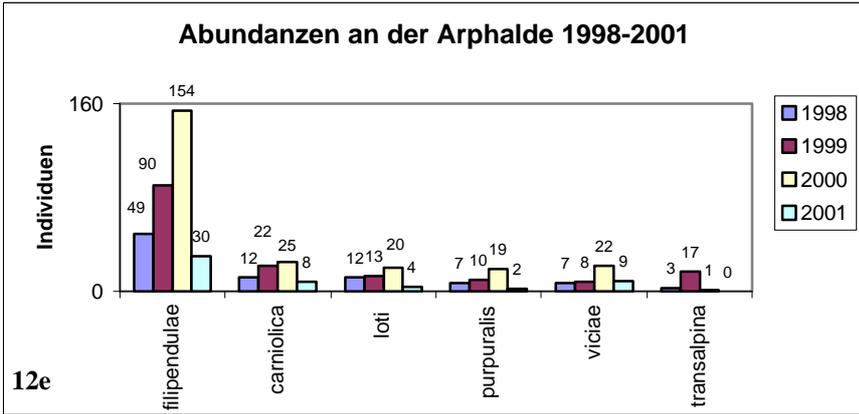
Am Wartberg (insgesamt etwa 5500 Imagines) nahmen die Individuenzahlen von 1998 auf 1999 sehr stark zu (Abb. 12l). Besonders auffällig ist dies bei *Z. carniolica* (ca. 25-fache Zunahme) und *Z. filipendulae* (ca. 16-fach) jeweils im südlichen Teil, aber auch bei *Z. transalpina* (Abb. 12k). Nur *Z. loti* verhielt sich gegenläufig. Im Jahr 2000 nahm die Widderchenhäufigkeit mäßig (*Z. carniolica*, *Z. filipendulae*) und 2001 stark ab. *Zygaena purpuralis* (mehr nördlicher Teil), *Z. transalpina* und *Z. loti* (mehr südlicher Teil) erreichten ihr Maximum erst 2000.

Die Dominanzen unterscheiden sich zwischen nördlichem und südlichem Wartberg trotz eines ähnlichen Artenspektrums sehr (Abb. 13f-g). Während in ersterem Teil von 1999-2001 besonders *Z. purpuralis* mit 43 % und *Z. transalpina* mit 37 % dominierten, war im südlichen Teil *Z. filipendulae* (55 %) dominant. Hier erreichten ansonsten nur *Z. carniolica* (25 %) und eingeschränkt noch *Z. transalpina* (10 %) nennenswerte Anteile an der Gesamtindividuenzahl.

Die Jahres-Gesamtindividuenzahlen nahmen auch im Eselsburger Tal (3244 Imagines) von 1998 nach 1999 zu (Abb. 12n). Danach fielen sie steil (2000) bzw. etwas schwächer (2001) ab. Den größten Anteil an dieser Entwicklung hatten *Z. filipendulae* und *Z. carniolica* (Abb. 12m). *Zygaena purpuralis* hingegen wurde kontinuierlich seltener. War die Art noch 1998 sehr häufig, so traf ich sie 2001 nur mehr in Einzelexemplaren an. *Zygaena viciae* nahm durchgehend zu, besonders 2001, während *Z. loti* 2000 ein Maximum aufwies.

Dominant war, wie in den meisten Gebieten der Lonetal-Flächenalb, eindeutig *Z. filipendulae* mit 61 % (Abb. 13h). Außer dieser Art erreichten noch *Z. purpuralis*, *Z. loti* und *Z. carniolica* mehr als 10 % Anteil an der Gesamtindividuenzahl.





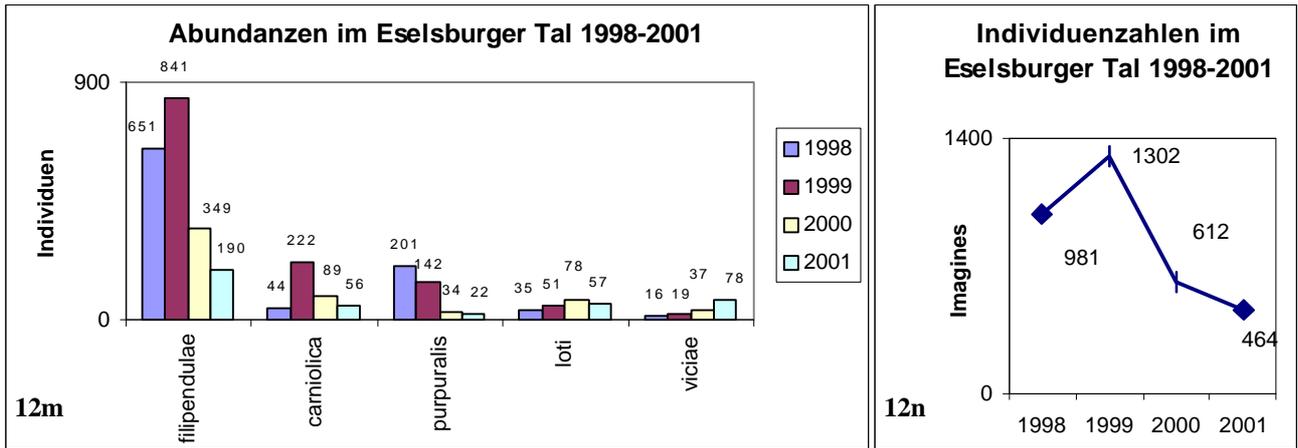
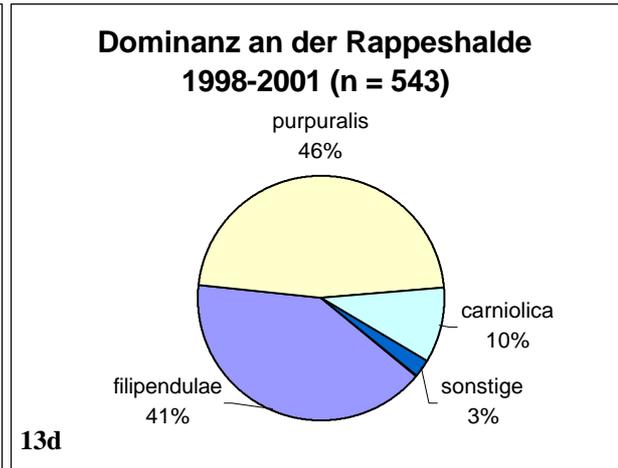
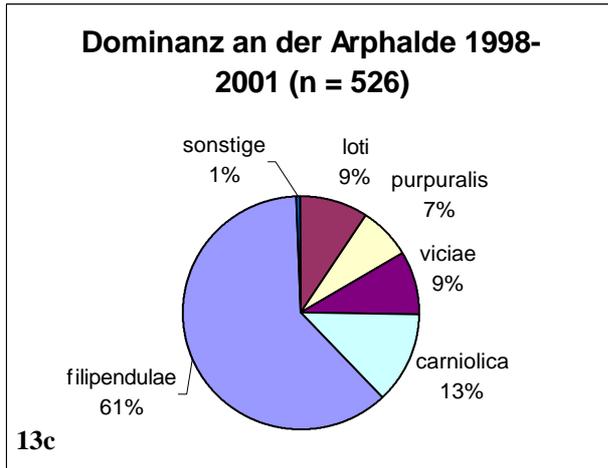
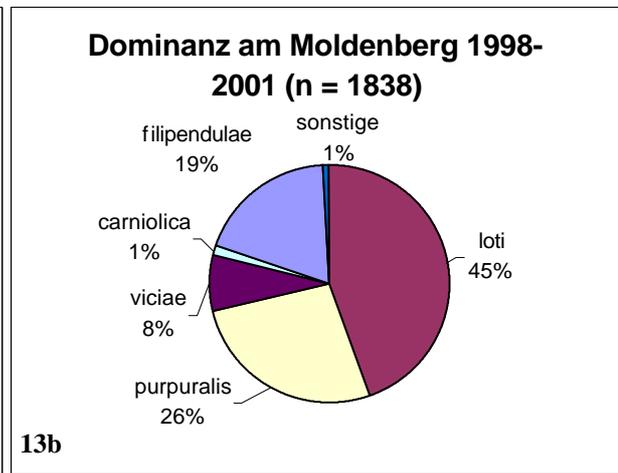
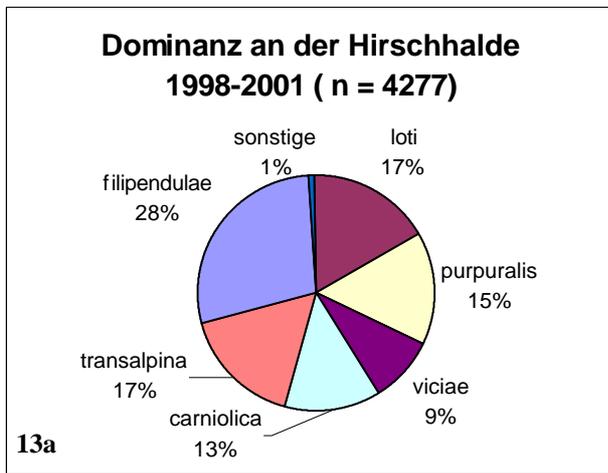


Abb. 12a-n: Vergleich der Abundanzen (Summe der wöchentlichen Nachweise) der einzelnen Rotwidderchen-Arten in den sieben von 1998-2001 untersuchten Gebieten und Entwicklung der Gesamtindividuenzahl.



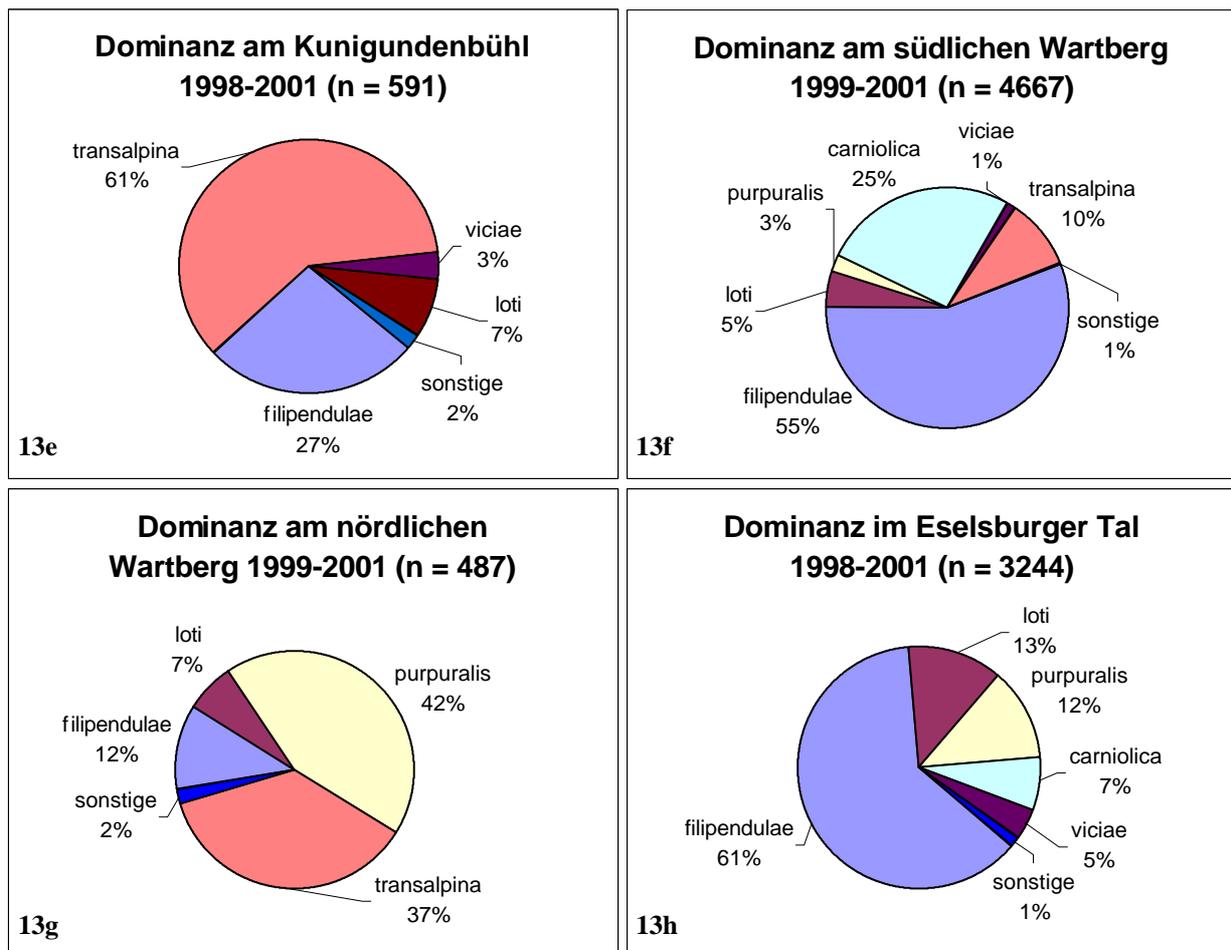


Abb. 13a-h: Vergleich der Dominanzen (Anteil an der Gesamtindividuenzahl) der Rotwiderchenarten in den von 1998-2001 behandelten Gebieten. Der Wartberg ist für 1999-2001 getrennt in Nord- und Sütteil dargestellt.

### 3.4.2 Untersuchungsgebiete 2000-2001

Es wurden auch hier 2000 meist mehr Individuen registriert als 2001 (Tabelle 7). Den größten Anteil an dem Rückgang hat dabei die in vielen Gebieten dominierende *Z. filipendulae*, die außer in drei Gebieten teils sehr deutlich abnahm (z.B. Ramenstein, Hetzenäcker, Eschklinge). *Zygaena purpuralis* wurde nur am Ramenstein deutlich häufiger registriert. In den anderen Gebieten nahm die Art dagegen wie auch *Z. carniolica* meist ab. Ähnliches gilt für *Z. loti*. An Ramenstein und Hetzenäcker war bei dieser Art entgegen dem Trend eine leichte Zunahme zu beobachten. Bei *Z. viciae* ist kein eindeutiger Trend auszumachen. Einer Abnahme der registrierten relativen Abundanz in manchen Gebieten steht eine Zunahme in anderen gegenüber. Außer im Gebiet Hetzenäcker zählte ich auch von *Z. minos* 2001 weniger Individuen als im Vorjahr, von *Z. loniceræ* dagegen besonders im Lindletal mehr (Tabelle 7).

Die Heiden in der Lonetal-Flächenalb (Giengen-Herbrechtingen-Hermaringen) wurden meist von *Z. filipendulae* dominiert. Oft stärker vertreten waren auch *Z. carniolica* und das Grünwiderchen *A. geryon* (vgl. 3.13).

An der **Eschklinge** nahm die stark dominierende *Z. filipendulae* von 2000 auf 2001 sehr stark ab (Tabelle 7). Das gleiche trifft für *Z. carniolica* zu. Die anderen Arten (*Z. purpuralis* und *Z. loti*) stellte ich in beiden Jahren nur in wenigen Einzelexemplaren fest.

Genau dasselbe gilt für den **Hohen Rain**. Die häufigste Art *Z. filipendulae* war 2001 auf 1/6 des Wertes vom Vorjahr verringert. *Zygaena carniolica* und *Z. purpuralis* gingen ebenfalls – von bereits geringem Niveau aus – weiter zurück.

Beim **Benzenberg** ist die Tendenz ähnlich, wenn auch der Rückgang der dominierenden *Z. filipendulae* sowie der von *Z. carniolica* weit weniger ausgeprägt war. Vor allem erstere war auch 2001 noch ziemlich häufig, gerade als Larve. *Zygaena loti* konnte leicht zahlreicher nachgewiesen werden, während *Z. purpuralis* nur 2000 in Einzeltieren gefunden wurde.

Am nur 2000 untersuchten **Irpfl-Südhang** dominierte eindeutig *Z. transalpina* mit etwa 60 % Anteil an allen beobachteten Rotwidderchen. *Zygaena filipendulae* folgt mit 36 %, während ich *Z. loti* und *Z. carniolica* nur in Einzelindividuen nachwies. Der **Westhang** (westlich der Autobahn) zeigt ein ähnliches Bild. Außer *Z. transalpina* und *Z. filipendulae* war kein weiteres Rotwidderchen aufzufinden.

Ebenfalls nur 2000 begangen wurde das **Lange Feld**. Hier konnte ich fast nur *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae* beobachten. Von *Z. viciae* liegt ein Kokonfund vor.

Bei **Anhausen** waren *Z. viciae* und *Z. filipendulae* dominant. Während erstere seltener wurde, nahm letztere Art zu. *Zygaena loti*, *Z. purpuralis* (beide besonders 2000 nachgewiesen) und *Z. carniolica* waren selten.

Im **Hungerbrunnental** war wieder *Z. filipendulae* die zahlreichste Art. Hier stellte ich sie 2000 aber erheblich häufiger fest als im Folgejahr. Alle anderen Arten waren sehr selten. Im weiter nordwestlich gelegenen **Steinfeld** (hier nur E-Teil berücksichtigt) war als einzigem Fundort *Z. minos* 2001 das häufigste Widderchen. In weitem Abstand folgen *Z. purpuralis*, *Z. filipendulae* und *Z. carniolica*.

Am **Hohlen Stein** zeigt sich eine ähnliche Situation. Das dominante Widderchen *Z. filipendulae* war 2000 deutlich häufiger als 2001. Ebenso verhielten sich *Z. transalpina* und *Z. purpuralis*, allerdings auf niedrigerem Abundanzniveau. 2000 wurden insgesamt 112 Rotwidderchen gezählt, 2001 nur 26.

Am benachbarten **Erbisberg** dagegen waren die Verhältnisse fast umgekehrt. Hier blieb *Z. filipendulae* auf hohem Niveau und *Z. transalpina* wurde zahlreicher. Nur die in diesem Gebiet seltenen *Z. loti* und *Z. purpuralis* beobachtete ich 2001 noch individuen-schwächer als 2000.

Die Nachbargebiete **Burgstall** und **Knillberg** bei Steinheim wurden nur 2000 untersucht. An ersterer Lokalität dominierte *Z. filipendulae*. Als weitere Arten fanden sich nur mehr je vier Exemplare von *Z. carniolica* und *Z. loti*. Der Knillberg war ebenfalls recht widderchenarm. Es wurden insgesamt nur 26 Falter gezählt.

Auch die **Schäfhalde** zählte 2000 zu den sehr individuenarmen Gebieten. Neben *Z. filipendulae* fand ich an diesem großflächigen Magerrasen nur mehr Einzelexemplare von *Z. loti*, *Z. viciae* und *Z. purpuralis*. Das Grünwidderchen *Adscita geryon* war mit 24 Nachweisen vergleichsweise etwas zahlreicher.

Ganz anders verhielt es sich an der nur wenige hundert Meter entfernten, kleinflächigen **Mühlhalde**. Hier war in beiden Jahren *Z. viciae* dominant. Danach folgte *Z. filipendulae*. Sonst kamen nur mehr *Z. loti* und *Z. purpuralis* vor, die beide ebenfalls 2000 erheblich zahlreicher waren.

Tabelle 7: Relative Abundanzen (Summen der bei den wöchentlichen Begehungen gezählten Imagines) der nur im Jahr 2000 und/oder 2001 untersuchten Gebiete.

Gebiet	minos		ephialtes		lonicerae		transalpina		carniolica		viciae		loti		purpuralis		filipendulae	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Mühlhalde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	49	14	6	27	2	48	19
Schäfhalde	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	7	-	2	-	4	-	16	-
Burgstall	0	-	0	-	0	-	0	-	4	-	0	-	4	-	0	-	93	-
Knillberg	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	14	-	2	-	10	-
Kelzberg	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	14	14	16	26	71	69	147	57
Bläßhalde	7	1	1	0	3	2	0	0	4	2	50	70	129	84	110	83	136	55
Südliche Bläßhalde	5	1	0	0	0	1	0	0	2	4	13	12	21	12	164	154	144	30
Stürzlesberg	38	36	0	0	0	7	0	0	2	1	27	69	35	39	77	41	23	52
Geißkanzel	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	39	99	12	6	42	17	70	39
Reibertal	1	0	0	0	1	4	0	0	19	3	26	43	28	6	100	102	126	159
Ramenstein	34	25	0	0	0	1	0	0	0	0	18	31	2	14	403	902	194	86
Hetzenäcker	30	39	0	0	0	1	0	0	1	0	26	14	15	25	266	181	630	91
Erbisberg	0	0	1	1	0	0	51	121	0	1	19	21	15	9	12	3	182	189
Hohler Stein	0	0	0	0	0	0	10	3	0	0	14	4	6	3	7	3	75	13
Anhausen	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	118	64	13	10	22	6	43	72
Hungerbrunnental	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	4	0	1	4	12	2	257	72
Langes Feld	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	25	-	3	-
Irpfl-Südhang	0	-	0	-	0	-	63	-	1	-	0	-	3	-	0	-	39	-
Irpfl-Westhang	0	-	0	-	0	-	57	-	0	-	0	-	0	-	0	-	12	-
Hoher Rain	0	0	0	0	0	0	0	0	21	8	0	0	0	0	8	2	151	25
Eschklinge	0	0	0	0	0	0	0	0	39	3	0	0	2	2	1	3	781	169
Benzenberg	0	0	4	3	0	0	0	1	100	57	0	1	16	22	8	0	505	445
Steinenfeld	-	167	-	0	-	0	-	0	-	36	-	4	-	1	-	53	-	41

Der **Kelzberg** wurde im Untersuchungszeitraum unter den Rotwiderchen von *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* dominiert. Während letztere weitgehend konstant blieb, wurde *Z. filipendulae* 2001 deutlich seltener. Die weiteren, ziemlich individuenschwachen Arten *Z. loti*, *Z. viciae* und *Z. carniolica* notierte ich 2001 meist etwas häufiger.

Bei den folgenden Gebieten, die alle im weiteren Bereich des Lindletals liegen, war neben *Z. filipendulae* besonders *Z. purpuralis* stark vertreten. An der **Bläßhalde** fanden sich darüber hinaus auch noch *Z. loti* und *Z. viciae* häufig. Bis auf *Z. viciae* waren dabei alle Arten 2001 deutlich seltener (besonders stark *Z. filipendulae*).

Im nahe gelegenen **Südteil der Bläßhalde** waren nur *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae* zahlreich. Letztere war 2001 aber nur in etwa 1/5 der Stärke des Vorjahres anzutreffen. Hier wies zusätzlich auch das Grünwiderchen *Adscita geryon* eine größere Populationsdichte auf.

Am **Stürzlesberg** besaßen mehrere Arten einen nennenswerten Anteil an der Gesamtindividuenzahl. Dieser verringerte sich in folgender Reihe: *Z. purpuralis*, *Z. viciae*, *Z. filipendulae*, *Z. loti* und *Z. minos*. Während *Z. purpuralis* 2001 viel seltener war als im Vorjahr, verhielt es sich bei *Z. filipendulae* und *Z. viciae* umgekehrt. *Zygaena lonicerae* und *Z. carniolica* waren sehr selten.

Die Heide im **Reibertal** wurde wieder von *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* dominiert. Daneben ist noch *Z. viciae* erwähnenswert vertreten. *Zygaena carniolica* war 2001 deutlich seltener als im Vorjahr, was auch für *Z. loti* gilt.

Die kleine **Geißkanzel** wurde von *Z. viciae*, *Z. filipendulae* und – bereits eingeschränkt – auch von *Z. purpuralis* in größerer Dichte besiedelt. Während erstere 2001 deutlich zahlreicher als im Vorjahr auftrat, wurden die anderen beiden Arten seltener, so besonders *Z. purpuralis*. Die Gesamtzahl der beobachteten Widderchen blieb ziemlich konstant (165 zu 162).

Der **Ramenstein** war besonders 2001 stark von *Z. purpuralis* dominiert. Hier fand sich die stärkste Population im gesamten Untersuchungsgebiet. Erst in weitem Abstand folgten die Arten *Z. filipendulae*, *Z. minos* und *Z. viciae*. *Zygaena loti* und *Z. lonicerae* traf ich nur einzeln an.

Im Gebiet **Hetzenäcker** schließlich waren ebenfalls *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* vorherrschend. Dabei ging aber erstere Art von 630 gezählten Individuen 2000 auf 91 Tiere im Folgejahr sehr zurück. Beim Thymian-Widderchen war der Rückgang nicht ganz so stark. Wesentlich individuenschwächer waren bereits *Z. minos*, *Z. loti* und *Z. viciae*. *Zygaena lonicerae* und *Z. carniolica* stellte ich nur in je einem Exemplar fest.

## 3.5 Gebietsanalyse

### 3.5.1 Biotopfaktoren

Am häufigsten sind signifikante Abweichungen der von starken Populationen besiedelten Teilflächen von den restlichen beim Faktor Exposition festzustellen (Tabelle 8), gefolgt von der Waldnähe. Keine signifikanten Unterschiede weisen dagegen die Flächengröße und die Magerkeit auf. Die Korrelationskoeffizienten (Tabelle 9) bestätigen dies weitgehend. So sind hier ebenfalls die Waldnähe und die Exposition oft positiv mit dem Vorkommen und der Abundanz von Widderchenarten korreliert, während Magerkeit, Größe und auch Gesteinsanteil keine signifikante Rolle spielen. Besonders abweichend sind *Z. carniolica* auf der einen Seite und *Z. lonicerae* (geringe Datenbasis) und *Z. viciae* auf der anderen, was von der durchgeführten Clusteranalyse bestätigt wird.

Die Flächengröße war nur bei starken Populationen von *Z. minos* tendenziell größer als der Durchschnitt der nur schwach oder nicht besiedelten. Der Korrelationskoeffizient weist eine ähnliche, wenn auch noch nicht signifikante Tendenz auf.

Bei *Z. minos* und *Z. carniolica* wich die Exposition signifikant vom Durchschnitt dergestalt ab, daß fast ausschließlich Süd- und Südwestlagen von starken Populationen besiedelt waren. Beide Arten zeigten auch eine geringe Spannweite. So waren überhaupt keine individuenreichen Populationen in ebener oder nordwestexponierter Lage zu beobachten. Selbst reine Westlagen waren meist nur schwach besetzt. Bei *Z. purpuralis* und *Z. filipendulae* liegt zumindest im Vergleich mit gar nicht oder schwach besiedelten Teilflächen eine Signifikanz in der gleichen Richtung vor. Das heißt, daß abundante Populationen dieser auf fast allen Flächen nachgewiesenen Arten trotz insgesamt sehr großer Spannweite bevorzugt in südlicher Exposition zu finden waren. Unterstützt wird diese Aussage von den Korrelationskoeffizienten, die gleichfalls eine zunehmende Besiedlung mit südlicherer Exposition indizieren. Bei *Z. loti* ist noch eine leichte Tendenz zu Südexposition zu erkennen.

Der Gesteins- und Felsanteil spielt besonders bei *Z. carniolica* und *Z. viciae* (n = 19) eine tendenzielle und unterschiedliche Rolle. Während erstere nach dem Korrelationskoeffizienten und den Unterschieden der stark besiedelten Teilflächen zu den schwach oder nicht besiedelten individuenreicher oft an steinig-felsigen Hängen angetroffen wurde, fand sich letztere hier seltener. Bei *Z. filipendulae* ist noch eine leichte Tendenz zu steinig-

Tabelle 8: Überprüfung der Unterschiede stärker besiedelter Flächen (n) zu einerseits allen 60 Flächen (p obere Zeile) und andererseits den nur schwach oder gar nicht besiedelten (p untere Zeile) mittels des U-Tests. Unterstrichen sind signifikante Unterschiede (p < 5 %) dargestellt. Bei p > 25 % ist kein Wert mehr angeführt. Angegeben ist weiter das arithmetische Mittel der stark besiedelten Flächen (oberste Zeile der jeweiligen Art), das der wenig besiedelten (60-n) und das aller 60 Teilgebiete (unterste Zeile der Tabelle). Die Werte sind jeweils auf ein Zehntel gerundet.

Art/Mittelwert/Signifikanz	Größe	Exposition	steinig/felsig	lückig	steil	waldnah
<b>minos</b> (n = 8)	2,4	3,6	2,3	2,3	3	2,6
P [%]	/	<u>3,5</u>	/	/	22	/
wenig besiedelt (60-n = 52)	2	2,5	2,1	2,1	2,4	2
P [%]	19	<u>1,6</u>	/	/	16,4	18
<b>ephialtes</b> (n = 6)	2,3	3	2,5	2,7	2,8	1,8
P [%]	/	/	/	/	/	/
wenig besiedelt (54)	2,1	2,6	2,1	2,2	2,5	2,1
P [%]	/	/	/	/	/	/
<b>lonicerae</b> (n = 6)	2,3	2,3	1,8	2	2,5	3,3
P [%]	/	/	/	/	/	<u>2,7</u>
wenig besiedelt (54)	2,1	2,7	2,2	2,2	2,6	2
P [%]	/	/	/	/	/	<u>1,5</u>
<b>transalpina</b> (n = 8)	2,1	2,9	2	2,3	2,9	2,1
P [%]	/	/	/	/	/	/
wenig besiedelt (54)	2,1	2,6	2,2	2,2	2,5	2,1
P [%]	/	/	/	/	/	/
<b>carniolica</b> (n = 12)	2,3	3,6	2,8	2,8	3,4	1,8
P [%]	/	<u>1,4</u>	7,8	<u>3,9</u>	<u>0,6</u>	/
wenig besiedelt (48)	2,1	2,4	2	2,1	2,4	2,2
P [%]	/	<u>0,3</u>	<u>3,1</u>	<u>1,2</u>	<u>0,1</u>	23
<b>viciae</b> (n = 19)	2,1	2,6	1,8	1,9	2,5	2,7
P [%]	/	/	22	/	/	4
wenig besiedelt (41)	2,1	2,6	2,3	2,3	2,6	1,8
P [%]	/	/	6,8	14,6	/	<u>0,5</u>

Art/Mittelwert/Signifikanz	Größe	Exposition	steinig/felsig	lückig	steil	waldnah
<b>loti</b> (n = 18)	2,2	3	2,2	2,2	2,7	2,5
P [%]	/	/	/	/	/	22
wenig besiedelt (42)	2,1	2,5	2,2	2,2	2,6	1,9
P [%]	/	13	/	/	/	9,5
<b>purpuralis</b> (n = 24)	2,2	3,1	2,4	2,4	3	2,5
P [%]	/	17,3	/	/	9	11
wenig besiedelt (36)	2	2,4	2	2,1	2,3	1,9
P [%]	/	<u>3,8</u>	/	18,7	<u>1</u>	<u>1,5</u>
<b>filipendulae</b> (n = 48)	2,1	2,9	2,3	2,3	2,7	2,1
P [%]	/	/	/	/	/	/
wenig besiedelt (12)	1,9	1,6	1,7	1,8	2,1	2,3
P [%]	/	<u>0,1</u>	9,8	10,8	5,2	/
<b>Mittelwert aller Teilgebiete</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>	<b>2,1</b>

Art/Mittelwert/Signifikanz	gehölzreich	beweidet	trocken	moosreich	mager
<b>minos</b>	2,1	2,8	2,6	3,1	2,9
P [%]	/	/	/	5,9	/
wenig besiedelt	2,3	2,6	2,4	2,6	2,8
P [%]	/	/	/	<u>3,1</u>	/
<b>ephialtes</b>	2,5	2,3	2,8	2,3	2,5
P [%]	/	/	/	22	/
wenig besiedelt	2,2	2,7	2,4	2,7	2,8
P [%]	/	/	26	17,5	/
<b>lonicerae</b>	2,5	2,2	2,5	2,8	2,3
P [%]	/	/	/	/	/
wenig besiedelt	2,3	2,6	2,4	2,7	2,8
P [%]	/	21	/	/	22
<b>transalpina</b>	2,4	2,3	2,6	2,5	2,5
P [%]	/	/	/	/	/
wenig besiedelt	2,3	2,7	2,4	2,7	2,8
P [%]	/	/	/	/	/
<b>carniolica</b>	1,6	2,8	3	2,8	3
P [%]	<u>1,8</u>	/	<u>3</u>	/	/
wenig besiedelt	2,4	2,7	2,3	2,7	2,8
P [%]	<u>0,4</u>	/	<u>0,8</u>	/	/
<b>viciae</b>	2,5	2,2	2,3	2,8	2,5
P [%]	/	<u>2,7</u>	/	/	17,4
wenig besiedelt	2,2	2,9	2,4	2,7	2,9
P [%]	12,7	<u>0,7</u>	/	/	6
<b>loti</b>	2,6	2,3	2,4	2,9	2,6
P [%]	/	24	/	/	25
wenig besiedelt	2,1	2,8	2,4	2,6	2,9
P [%]	11,2	11,2	/	/	12,3
<b>purpuralis</b>	2,3	2,6	2,6	2,9	2,8
P [%]	/	/	24	/	/
wenig besiedelt	2,3	2,5	2,3	2,6	2,8
P [%]	/	/	7,5	12	/
<b>filipendulae</b>	2,2	2,6	2,6	2,8	2,7
P [%]	/	/	/	/	/
wenig besiedelt	2,5	2,8	1,6	2,2	3
P [%]	/	/	<u>0,1</u>	<u>1,5</u>	/
<b>Mittelwert aller Teilgebiete</b>	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>	<b>2,4</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>

Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten (SPEARMAN) des Vorkommens der Widderchen in Bezug auf die erhobenen Faktoren (alle Teilflächen). Koeffizienten einer signifikanten Korrelation ( $p < 5\%$ ) sind unterstrichen. Das Signifikanzniveau ( $p$  in %) ist in der zweiten Zeile jeder Art angegeben. Die Werte sind jeweils auf ein Zehntel gerundet.

Art	Größe	Exposition	steinig/felsig	lückig	steil	waldnah	gehölzreich
<b>minos</b>	0,2	<u>0,3</u>	0,1	0,1	0,2	<u>0,3</u>	0
P [%]	6,3	1,1	/	/	12	3,1	/
<b>ephialtes</b>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1
P [%]	/	/	/	/	/	/	/
<b>lonicerae</b>	0,1	0,1	-0,1	0	0	<u>0,3</u>	0,1
P [%]	/	/	/	/	/	0,6	/
<b>transalpina</b>	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0	-0,1
P [%]	/	15,6	0,1	/	7,8	/	/
<b>carniolica</b>	0,1	<u>0,5</u>	0,2	<u>0,3</u>	<u>0,5</u>	-0,1	-0,2
P [%]	/	0	5,9	2,3	0	/	6,4
<b>viciae</b>	0	0	0,2	-0,1	0	<u>0,6</u>	<u>0,3</u>
P [%]	/	/	7,5	/	/	0	2,2
<b>loti</b>	0,1	0,2	-0,1	0,1	0,1	<u>0,4</u>	<u>0,3</u>
P [%]	/	8,8	/	/	/	0,2	3
<b>purpuralis</b>	0,2	<u>0,3</u>	0,1	0,2	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	0,1
P [%]	/	1,1	/	11	0,9	1,1	/
<b>filipendulae</b>	0,1	<u>0,4</u>	0,2	0,2	<u>0,3</u>	-0,2	-0,1
P [%]	/	0	8,4	9,2	4	/	/

Art	beweidet	trocken	moosreich	mager
<b>minos</b>	-0,1	0,2	<u>0,3</u>	0
P [%]	/	10,9	1,4	/
<b>ephialtes</b>	-0,2	0,1	0,1	-0,1
P [%]	17,7	/	/	/
<b>lonicerae</b>	-0,1	0,1	0,2	-0,1
P [%]	/	/	18,6	/
<b>transalpina</b>	-0,2	0,2	-0,1	-0,1
p [%]	9,1	12,5	/	/
<b>carniolica</b>	0	<u>0,4</u>	0,1	0,1
P [%]	/	0,1	/	/
<b>viciae</b>	<u>-0,5</u>	-0,1	0,1	-0,2
P [%]	0	/	/	7,4
<b>loti</b>	<u>-0,3</u>	0,1	0,2	-0,2
P [%]	1,4	/	12,7	14,4
<b>purpuralis</b>	-0,2	0,3	0,2	0
P [%]	/	5,1	10,4	/
<b>filipendulae</b>	-0,1	<u>0,4</u>	<u>0,4</u>	-0,1
P [%]	/	0	0	/

felsigem Gelände zu erkennen, das heißt hier wurden etwas häufiger individuenreiche Vorkommen beobachtet als an steinarmen Stellen.

In signifikant lückiger bewachsenen Habitaten waren starke Populationen von *Z. carniolica* häufiger. *Zygaena filipendulae* und *Z. purpuralis* zeigten dieselbe Tendenz, wenn auch deutlich schwächer. Tendenziell in weniger lückigen Bereichen fand sich dagegen *Z. viciae*, was besonders bei Flächen mit größerer Individuendichte auffällt.

Steile Hänge besiedelten *Z. carniolica* und teils auch *Z. purpuralis* signifikant häufiger in großer Zahl. Während erstere überhaupt nicht individuenreich an ebenen Stellen vorkam,

fanden sich bei *Z. purpuralis* doch einige Beispiele einer stärkeren Populationsdichte in kaum geneigten Biotopen wie dem Langen Feld. *Zygaena filipendulae* war an weniger steilen Stellen seltener in großer Abundanz anzutreffen als in sehr hängigem Gelände. Hier liegen aber noch mehr Beispiele für individuenreiche Populationen auf ebenen Flächen vor als bei *Z. purpuralis*, so an der Plateauheide der Hirschhalde oder der Mühlhalde. Bei *Z. minos* ist ebenfalls eine tendenzielle Bevorzugung stärker geneigter Hänge zu erkennen. An ebenen Stellen wurden keine individuenreichen Bestände registriert. Das gleiche gilt für *Z. transalpina*. Hier wurden allerdings in keinem Fall rein ebene Lagen besiedelt, auch nicht in geringeren Populationsdichten.

Größere Bestände von *Z. lonicerae*, *Z. viciae* und teils *Z. purpuralis* kamen signifikant häufiger in Waldnähe vor. Es finden sich aber für letztere beiden Arten Beispiele starker Populationen in Waldferne, so im Mühlthal (Eselsburger Tal). Tendenziell walddah war die Verteilung *Z. loti* und *Z. minos*. Auch hier ist die Spannweite recht groß, so daß sich individuenreichere Populationen ebenfalls walddah fanden, so am südlichen Wartberg und im Mühlthal. Die Waldnähe schien besonders bei *Z. viciae* nur deswegen bevorzugt zu werden, da hier andere wichtige Faktoren der Habitatausstattung mit größerer Wahrscheinlichkeit erfüllt sind als an walddahen Standorten.

Signifikant gehölzarm zeigten sich die Vorkommen von *Z. carniolica* im Untersuchungsgebiet. Tendenziell gehölzreich waren dagegen die Fundorte von starken Populationen von *Z. loti* und *Z. viciae*. Bei letzterer zeigt der Korrelationskoeffizient sogar einen signifikanten Zusammenhang der Gesamtverbreitung mit dem Gehölzreichtum. Hier wurden bei beiden Arten ebenfalls Ausnahmen beobachtet. Tendenziell gehölzreicher als im Durchschnitt waren nach dem Korrelationskoeffizienten die Vorkommen von *Z. loti*.

Bei der Beweidungsintensität weisen *Z. viciae* eine signifikante und *Z. loti*, *Z. lonicerae* und *Z. ephialtes* eine tendenzielle, intensivere Besiedelung von schwächer beweideten Habitaten im Untersuchungsgebiet auf. Besonders bei ersterer Art kamen an intensiv beweideten Stellen nur Einzelindividuen vor. *Zygaena loti* war zudem in der Gesamtverbreitung und -abundanz signifikant negativ mit der Beweidungsintensität korreliert. *Zygaena viciae*, *Z. loti* und *Z. lonicerae* waren gleichzeitig auch tendenziell zu weniger mageren Vegetationsbeständen hin orientiert. Signifikant magerere Bestände als der mit von 2,8 bereits im eher mageren Bereich liegende Mittelwert aller Flächen wurden von keiner Art besiedelt. Der von *Z. carniolica* erreichte Wert von 3 ist insofern als hoch einzustufen.

Signifikant trockener als im Schnitt waren die Habitate starker Populationen von *Z. carniolica*, was für die Gesamtpopulation des Untersuchungsgebiets vom Korrelationskoeffizienten von 0,4 (Tabelle 9) bestätigt wird. Dies zeigte sich in Trockenperioden an einer schnellen Welke der Vegetation. Oft bereits im Juni (2000) verfärbten sich die Grasschosse nach braun. Umgekehrt wurden mesophilere Lebensräume gemieden, so etwa Mühlhalde, Schäfhalde oder Künigundenbühl. Eine wesentlich schwächere Tendenz in der selben Richtung zeigten *Z. ephialtes* und *Z. purpuralis*. Bei *Z. minos* weist zumindest der Korrelationskoeffizient in diese Richtung. *Zygaena filipendulae* bildete im Untersuchungsgebiet häufiger in trockenen Habitaten individuenreiche Populationen aus als in mesophileren, so daß letztere bei insgesamt allerdings sehr großen Spannweite am ehesten gemieden wurden. Die Art fand sich aber auch in den mesophilsten Bereichen wie an Mühl- und Schäfhalde teils in größerer Zahl.

Viele Widderchenhabitate zeichneten sich durch eine gut entwickelte Mooschicht aus. Besonders für Arten mit signifikanter Besiedelung moosreicher Bereiche wie *Z. minos* oder noch immerhin tendenzieller wie *Z. loti* oder *Z. purpuralis*, aber auch für viele starke Populationen von *Z. filipendulae* und *Z. carniolica*, war eine umfangreiche Moosbedeckung zwischen offenen Bodenanteilen typisch. Auch Biotope mit schwach ausgebildeter Mooschicht besiedelten fast nur *Z. ephialtes* und *Z. transalpina*, die weitgehend als einzige Arten Rohböden mit dem den Pionierarten *Coronilla varia* oder *Hippocrepis comosa* nutzten.

Insgesamt ist der Zusammenhang aller, insbesondere aber individuenreicher Vorkommen von *Z. carniolica*, mit der Exposition, dem Deckungsgrad, der Trockenheit und der Hängigkeit der Magerrasen besonders ausgeprägt. Bei *Z. minos* scheint der wichtigste Faktor die Südexposition zu sein, die die Gesamtverbreitung limitierte. Daneben waren gute Vorkommen eher an steileren Hängen und bei größerem Moosreichtum zu erwarten. Diese Ergebnisse werden durch eigene Beobachtungen an Fundorten außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets im Raum Neresheim-Fleinheim bestätigt. *Zygaena purpuralis* war hingegen in der Verbreitung weit weniger stark von der Exposition beeinflusst, wenn auch eine Bevorzugung südlicher Exposition von individuenreichen Populationen zu beobachten war. Auch hier wurden steile, dazu eher lückige Hänge bei allerdings größerer Spannweite oft individuenreicher besiedelt. *Zygaena ephialtes* fand sich durchschnittlich häufiger in trockenen und weniger beweideten Teilflächen. Für *Z. loti* schien eine geringere Beweidung und Magerkeit zumindest für individuenreiche Vorkommen von Bedeutung zu sein. Ansonsten war noch eine leichte Orientierung zu gehölz- und moosreicheren Habitaten zu beobachten. Starke *Z. viciae*-Vorkommen waren im Untersuchungsgebiet negativ mit den Faktoren „lückig“ und besonders „beweidet“ korreliert. Dafür lagen sie oft in Waldnähe, was auch für *Z. lonicerae* zutrifft. *Zygaena transalpina* lag bei keinem Faktor signifikant außerhalb des Durchschnitts. Es war nur eine Tendenz zu (sommer-)trockenen Habitaten in ausschließlich hängiger, aber nicht unbedingt sehr steiler Lage zu erkennen. Noch indifferenter verhielt sich *Z. filipendulae*, bei der aber die individuenreichsten Vorkommen im Untersuchungsgebiet vor allem an trockenen, südexponierten und moosreichen Stellen wie den Heiden in der Lonetal-Flächenalb beobachtet wurden.

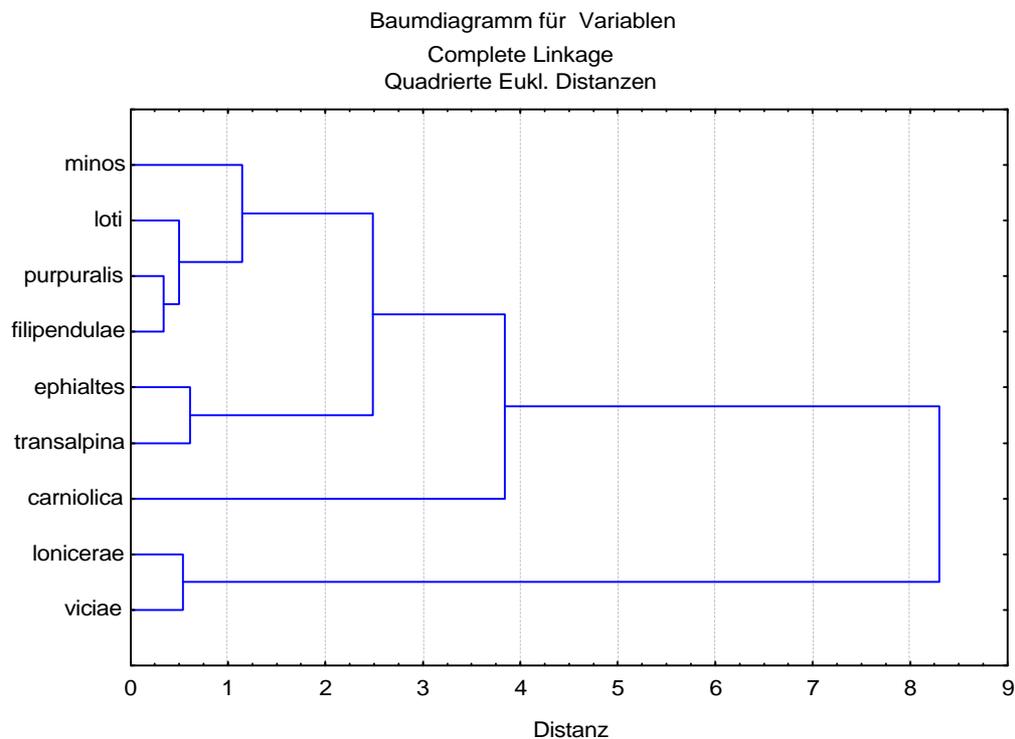


Abb. 14: Ähnlichkeit der einzelnen Arten nach bevorzugten Standortfaktoren. Für jede Art gingen die Mittelwerte der Standortfaktoren (ausgeschlossen: Flächengröße) der stärker besiedelten Flächen (Abundanzindex 3-4, nur bei *Z. lonicerae* *Z. ephialtes* Tabelle 8) Distanzmaß „Quadrierte euklidische Distanzen“ und Clustermethode „Complete Linkage“.

In der Clusteranalyse (Abb. 14) bestätigt sich, daß *Z. lonicerae* und *Z. viciae* im Hinblick auf die erhobenen Faktoren sehr nahe zusammenliegen, was ähnliche ökologische Ansprüche im Untersuchungsgebiet impliziert. Dabei sind sie von den übrigen Arten weit entfernt. Innerhalb letzterer ist *Z. carniolica* stark von den verbleibenden sechs Widderchen isoliert. Dies weist auf einen recht engen ökologischen Optimumsbereich hin, auf den in dieser Weise keine andere Art beschränkt ist. Schließlich lassen sich noch *Z. ephialtes* und *Z. transalpina* zu einem Cluster zusammenfassen. Tatsächlich waren die beiden Arten nicht selten zusammen anzutreffen, nämlich beispielsweise in Säumen des Geranion sanguinei. Die restlichen Arten sind wegen der recht geringen Distanzen nicht mehr sinnvoll aufzutrennen. Immerhin scheint *Z. minos* noch isoliert zu sein, wobei dann die drei Arten *Z. loti*, *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* mit der bei weitem größten Spannweite an besiedelten Habitaten in einer Gruppe zusammengefaßt sind.

### 3.5.2 Raupennahrungspflanzen

#### Nahrungspflanzenspektrum

Die vorkommenden neun Rotwiderchenarten leben hauptsächlich an Fabaceen, von denen allein der Hornklee (*Lotus corniculatus*) von vier Arten genutzt wird. Nur die beiden Vertreter der Untergattung *Mesembrynus*, nämlich *Zygaena minos* und *Z. purpuralis*, befressen Apiaceen bzw. Lamiaceen.

Bei *Z. transalpina hippocrepidis* stellte ich im Untersuchungsgebiet fast ausschließlich den Hufeisenklee (*Hippocrepis comosa*) als Raupennahrung fest (Tabelle 10). Nur wenige Beobachtungen liegen von der Bunten Kronwicke (*Coronilla varia*) vor, so an Kunigundenbühl und Hirschhalde. An *Lotus corniculatus* konnte bislang trotz der sehr großen Zahl an beobachteten Raupen in keinem Fall ein Fraß im Freiland festgestellt werden. Da die Larven diese Art aber unter Zuchtbedingungen annahmen, könnte sie unter Umständen auch im Freiland gelegentlich gefressen werden. Bei gleichzeitigem Vorliegen von Horn- und Hufeisenklee wurde letzterer jedoch in der Zucht eindeutig bevorzugt, so daß *Lotus* im Untersuchungsgebiet insgesamt kaum eine Rolle spielen dürfte.

*Zygaena filipendulae* ernährt sich im Gebiet ausschließlich von Hornklee (Tabelle 10). Im Fütterungsversuch wurde außer *Lotus* keine weitere Gattung akzeptiert, so weder *Anthyllis* noch *Onobrychis*.

*Zygaena carniolica* frißt sowohl Hornklee als auch Esparsette (*Onobrychis viciifolia*). Obwohl letztere in der Zucht bevorzugt wurde, kommt dem Hornklee im Untersuchungsgebiet die weitaus größere Bedeutung zu, da die Esparsette nur in wenigen Habitaten und in kleinen Beständen vorkommt. Insgesamt wurden dann auch über 90 % der Raupen an *Lotus* registriert.

*Zygaena purpuralis* ernährt sich von den nahe verwandten Feldthymian-Kleinarten *Thymus pulegioides* und *T. froehlichianus*, *Z. minos* hingegen von Kleiner Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*). Die jeweils andere Art wurde im Zuchtversuch verweigert (vgl. HOFMANN 1994).

*Zygaena ephialtes* nutzt ausschließlich *Coronilla varia*. *Zygaena lonicerae* weist dagegen ein weiteres Nahrungspflanzenspektrum auf. Neben den aus dem Untersuchungsgebiet belegten Funden an Hornklee und Rotklee (*Trifolium pratense*) sind in der Literatur (HOFMANN 1994) weitere Arten aus den Gattungen *Lathyrus*, *Trifolium*, *Onobrychis* und *Vicia* bekannt.

Auch *Z. viciae* ist wenig wählerisch. In abnehmender Häufigkeit wurde sie im Untersuchungsgebiet an Hornklee, Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*), Esparsette, Vogel-

Wicke (*Vicia cracca*), *Vicia tenuifolia*, Berg-Klee (*Trifolium montanum*) und Sichel-Klee (*Medicago falcata*) festgestellt.

Für *Z. loti* schließlich stellte ich den Hufeisenklee als wichtigste Nahrungspflanze fest. Daneben liegen noch zahlreichere Nachweise von der Bunten Kronwicke (Moldenberg) und der Esparsette (Moldenberg, Hirschhalde, Kelzberg, Anhausen) vor. Am Hornklee konnte keine Freilandraupe beobachtet werden. Da diese Art aber in der Zucht gefressen wurde, könnte sie auch im Freiland eine – wenn auch geringe – Rolle spielen. Bei gleichzeitigem Vorliegen von Hornklee und Esparsette fraßen Raupen in der Zucht allerdings ausschließlich Esparsette. Die Bedeutung des Hufeisenklees wurde neben vielen Raupenfunden durch die Verteilung von *Z. loti* beispielsweise an Ramenstein und Hetzenäcker deutlich. Die Pflanze und das Widderchen kamen in ersterem Gebiet nur ganz im Osten vor, während sie im letzteren auf den Südhang beschränkt waren. Die anderen Bereiche waren reich an Hornklee, der aber offensichtlich nicht genutzt wurde. Auch am Knillberg fanden sich Falter von *Z. loti* fast nur in einem kleinen, von *Hippocrepis* dicht bewachsenen Bereich. Der Hufeisenklee ist in den Allgäuer Alpen ebenfalls die wichtigste Raupennährpflanze (eigene Beobachtungen).

Tabelle 10: Festgestellte Freiland-Raupennahrungspflanzen der Widderchen im Untersuchungsgebiet. Arten/Gattungen großer Bedeutung (viele Nachweise) sind mit XX bezeichnet, möglicherweise schwach genutzte ohne bisherige Nachweise 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.

	<i>minos</i>	<i>filipendulae</i>	<i>loniceriae</i>	<i>transalpina</i>	<i>carniolica</i>	<i>purpuralis</i>	<i>loti</i>	<i>viciae</i>	<i>ephialtes</i>
<i>Pimpinella saxifraga</i>	XX								
<i>Hippocrepis</i>				XX			XX		
<i>Lotus corniculatus</i>		XX	X	X?	XX		X?	XX	
<i>Thymus</i>						XX			
<i>Coronilla varia</i>				X			XX		XX
<i>Onobrychis</i>			(X)		X		X	X	
<i>Trifolium</i>			X					X	
<i>Lathyrus</i>			(X)					XX	
<i>Vicia</i>			(X)					XX	

### Korrelation von Raupennahrungspflanzen und Widderchenvorkommen

Die Verbreitung und Abundanz der Nahrungspflanzen bestimmt natürlicherweise das Vorkommen der Widderchen. Um das Ausmaß einer eventuellen Limitierung der Falter im Untersuchungsgebiet durch ihre larvalen Fraßpflanzen im Verhältnis zu den anderen Faktoren abzuschätzen, wurde eine Untersuchung auf Unterschiede bzw. Zusammenhänge in der Verteilung von Widderchen und Raupennahrung durchgeführt.

Beim Vergleich der Häufigkeit der Raupennahrungspflanzen mit der der Widderchen (Abb. 15) fällt auf, daß *Lotus corniculatus* und *Thymus pulegioides* agg. sowie die sich davon

jeweils ausschließlich ernährenden Arten *Z. filipendulae* *Z. purpuralis* am häufigsten  
*Pimpinella saxifraga* war hingegen beispielsweise deutlich häufiger als . Die  
 Korrelationskoeffizienten sind immer größer als Null, da jegliches Vorkommen der Widder-

könnte bei weniger verbreiteten Widderchenarten die Verbreitung eben durch die Nahrungs-  
 pflanze limitiert worden sein. Je kleiner der Koeffizient, desto stärker sind wahrscheinlich an  
 an Nahrungspflanzen deutlich größer als die Verbreitung der entsprechenden Widderchen.

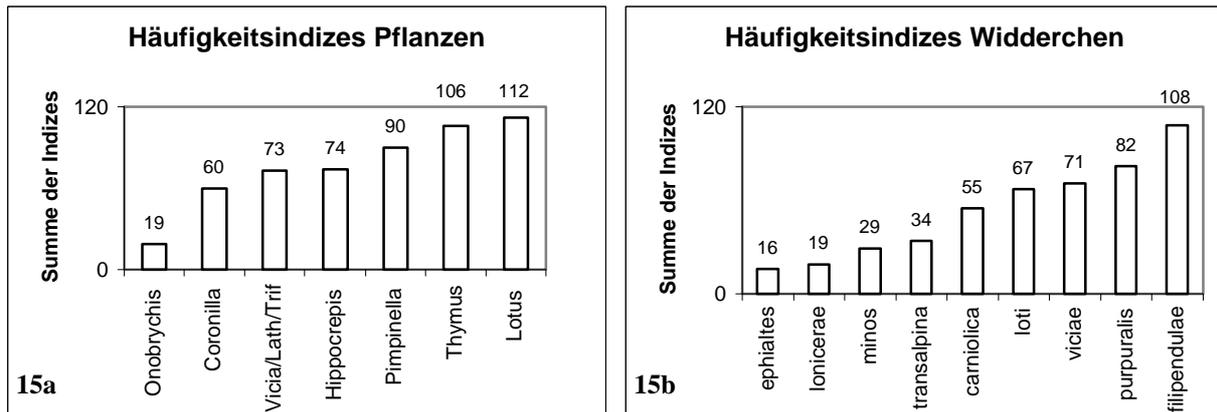


Abb. 15a-b: Häufigkeitsindizes (Summe der Einzelindizes der 31 Gesamtgebiete) der Raupennahrungspflanzen

Die Verbreitung und die Abundanz von *Zygaena transalpina*  
 Vorkommen von *Hippocrepis*  
 kommen der Art einen *Hippocrepis*  
 Populationen von 3,7 auf, was in beiden Fällen signifikant von allen Gebieten mit dem Mittel  
 2,4 abweicht. Flächen ohne das Widderchen kamen hingegen nur auf einen signifikanten Wert  
 Z.

im gesamten Lindletal vom Moldenberg bis Nattheim. Die Heiden dieses Gebiets hatten den  
 geringsten -Durchschnittsindex von nur 1,3. Der Korrelationskoeffizient deutet  
 mit 0,8 stark signifikant auf eine positive Abhängigkeit der Widderchenverbreitung und

Bei der an *Coronilla varia* *Z. ephialtes* verhält es sich ähnlich. Flächen  
*Coronilla*-Index von signifikanten 2,6 im Vergleich zu 1,9

Häufigkeitsstufe 2) waren mit 2,9 noch *Coronilla*  
 0,6 zwar etwas geringer als bei *Z. transalpina*  
 kanten Zusammenhang an.

Die seltene war dagegen mit ziemlicher Sicherheit nicht von der Nah-  
 rungspflanze limitiert, da und *Vicia/Lathyrus/Trifolium*  
 zumindest einige der Arten in jedem Magerrasen zahlreich vorkommen. Deshalb und wegen  
 des zu seltenen Auftretens wurde keine Korrelationsanalyse durchgeführt. Bei  
 (R = 0,5 bei p = 0,6 %) wurde hingegen auf den U-Test verzichtet, da aufgrund der gleich-  
 mäßig starken Besiedlung fast aller Gesamtgebiete keine signifikanten Unterschiede möglich

*Zygaena minos* stellte ich deutlich seltener fest als *Pimpinella saxifraga*. Gleichzeitig sind die Unterschiede zwischen besiedelten und unbesiedelten Flächen weniger signifikant. Der Mittelwert aller unbesiedelter Flächen liegt bei 2,6, was immer noch einer ziemlich großen Abundanz von *Pimpinella* entspricht. Der Korrelationskoeffizient ist mit 0,5 aber noch relativ hoch. Populationen des Widderchens fanden sich somit nur in sehr *Pimpinella*-reichen Habitaten. Umgekehrt waren aber solche Flächen nicht immer vom Widderchen besiedelt. Der Unterschied von 0,3 zum Mittel aller Gebiete (2,9) ist folglich nur deshalb tendenziell signifikant, weil die Standardabweichung aufgrund der konstanten Häufigkeit von *Pimpinella* sehr gering ist.

Tabelle 11: Korrelation des Vorkommens der Widderchen mit dem der Raupennährpflanzen (Spearman'sche Rangkorrelation R) sowie Unterschiede der Raupenpflanzenhäufigkeit zwischen besiedelten und allen sowie besiedelten und unbesiedelten Gebieten (U-Test). In der ersten Zeile ist die Anzahl der von der jeweiligen Widderchenart besiedelten Gebiete angegeben, in der zweiten der Mittelwert der Abundanzindizes der jeweiligen Nahrungspflanze in allen Gebieten. Die dritte Zeile zeigt den Koeffizienten einer Korrelation der Abundanzindizes von Widderchen und Nahrungspflanze und die vierte eine etwaige Korrelationssignifikanz als p-Wert in Prozent. In den letzten vier Zeilen wurden einmal alle besiedelten Gebiete und einmal alle unbesiedelten in ihren Nahrungspflanzen-Indizes jeweils mit allen 31 Gebieten mittels des U-Tests verglichen. Dabei sind zusätzlich die jeweiligen Mittelwerte der Nahrungspflanzen-Indizes angegeben. Signifikante Korrelationskoeffizienten bzw. Unterschiede beim U-Test sind unterstrichen dargestellt. Im zweiten Teil der Tabelle (nur stark besiedelte Gebiete) wurde mittels U-Test noch ein Vergleich zwischen den stark (Abundanzindex 3-4) besiedelten und allen 31 Gebieten sowie zwischen allen und allen nicht stark besiedelten Gebieten nach gleichem Schema durchgeführt.

<b>alle besiedelten Gebiete</b>	<b>transalpina: Hippocrepis</b>	<b>epialtes: Coronilla</b>	<b>minos: Pimpinella</b>
Anzahl Gebiete besiedelt	12	9	14
Mittelwert aller Gebiete	2,4	1,9	2,9
Korrelationskoeffizient	<u>0,8</u>	<u>0,6</u>	<u>0,5</u>
p [%] (Korrelation)	0	0,1	0,8
Mittelwert besiedelte	3,4	2,6	3,2
p [%] (U-Test)	<u>1</u>	<u>2,1</u>	18,6
Mittelwert unbesiedelte	1,8	1,5	2,6
p [%] (U-Test)	<u>0</u>	<u>0,2</u>	<u>3,2</u>
	<b>purpuralis: Thymus</b>	<b>carniolica: Lotus/Onobrychis</b>	<b>carniolica: Lotus</b>
Anzahl Gebiete besiedelt	28	24	24
Mittelwert aller Gebiete	3,4	4,2	3,6
Korrelationskoeffizient	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,5</u>
p [%] (Korrelation)	1,8	0	0,4
Mittelwert besiedelte	3,4	4,5	3,8
p [%] (U-Test)	/	/	/
Mittelwert unbesiedelte	3,7	3,3	3,1
p [%] (U-Test)	/	<u>1,1</u>	<u>4,7</u>
	<b>viciae: Lotus/Onobr./ Lathyrus/Vicia/Trifolium</b>	<b>viciae: Lathyrus/ Trifolium/Vicia</b>	<b>loti: Hippocrepis/ Onobr./Coronilla</b>
Anzahl Gebiete besiedelt	25	25	28
Mittelwert aller Gebiete	6,6	2,4	4,9
Korrelationskoeffizient	<u>0,5</u>	<u>0,7</u>	<u>0,5</u>
p [%] (Korrelation)	0,3	0	0,5
Mittelwert besiedelte	6,8	2,6	5,1
p [%] (U-Test)	/	/	/
Mittelwert unbesiedelte	5,7	1,5	3
p [%] (U-Test)	5,7	<u>0,9</u>	10,9

<b>nur stark besiedelte Gebiete</b>	<b>transalpina: Hippocrepis</b>	<b>minos: Pimpinella</b>	
Anzahl Gebiete stark besiedelt	7	5	
Mittelwert alle Gebiete	2,4	2,9	
Mittelwert stark besiedelte	3,7	3,4	
p [%] (U-Test)	0,7	16,2	
Mittelwert nicht stark besiedelte	2	2,8	
p [%] (U-Test)	0,1	10,1	
	<b>purpuralis: Thymus</b>	<b>carniolica: Lotus/Onobrychis</b>	<b>carniolica: Lotus</b>
Anzahl Gebiete stark besiedelt	16	9	9
Mittelwert alle Gebiete	3,4	4,2	3,6
Mittelwert stark besiedelte	3,7	4,9	3,9
p [%] (U-Test)	/	15,4	/
Mittelwert nicht stark besiedelte	3,1	4	3,5
p [%] (U-Test)	12,3	5,6	13,3
	<b>viciae: Lotus/Onobr./Lathyrus/Vicia/Trifolium</b>	<b>viciae: Lathyrus/Trifolium/Vicia</b>	<b>loti: Hippocrepis/Onobr./Coronilla</b>
Anzahl stark besiedelt (n)	17	17	12
Mittelwert alle Gebiete	6,6	2,4	4,9
Mittelwert stark besiedelte	7,2	2,8	5,8
p [%] (U-Test)	13,4	13,1	/
Mittelwert nicht stark besiedelte	5,8	1,7	4,4
p [%] (U-Test)	0,6	0,5	10,4

Vorkommen und Abundanz von *Zygaena purpuralis* waren am geringsten mit denjenigen der Nahrungspflanze Thymian korreliert ( $R = 0,4$ ). Zudem sind kaum Unterschiede zwischen besiedelten und den wenigen unbesiedelten Gebieten festzustellen (Tabelle 11). Die Art fehlte nur drei Gebieten gänzlich, so daß deren *Thymus*-Mittelwert sogar über dem der besiedelten Gebiete liegen kann. Starke Populationen fanden sich dagegen nur an besonders *Thymus*-reichen Stellen. Folglich beeinflußt die Raupennahrung Thymian besonders die maximal erreichbare Abundanz des Widderchens.

Für *Z. carniolica* spielt *Onobrychis* im Untersuchungsgebiet nur eine geringe Rolle, da die Art zwar bevorzugt gefressen wird, aber meist nur in wenigen Einzelexemplaren vorkommt. Daß sich beim Summenindex *Lotus/Onobrychis* trotzdem ein höherer Korrelationskoeffizient ergibt als bei alleiniger Betrachtung von *Lotus*, liegt daran, daß in Gebieten mit guten *Z. carniolica*-Vorkommen oft auch *Onobrychis* zu finden war. Diese Pflanze kann aber wie beispielsweise an der Hirschhalde an ganz anderer Stelle wie das Widderchen vorkommen, wie am Benzenberg nur sehr kleinflächig oder wie an der Arphalde in der nicht von Raupen besetzten Mähwiese. Insgesamt ist der Mittelwert aller besiedelter Gebiete von allen unbesiedelten zwar in der *Lotus*-Häufigkeit signifikant verschieden, was besonders an einer geringen Streuung der konstant hohen Werte dieser Pflanze liegt. Dennoch ist selbst in den unbesiedelten Gebieten die *Lotus*-Abundanz mit einem mittleren Index von 3,1 immer noch sehr hoch. Zudem ist der Mittelwert aller überhaupt besiedelten Gebiete kaum größer als der aller stark besiedelten.

Auch *Z. viciae* war in ihrer Verbreitung nicht von den Nahrungspflanzen determiniert, da sie mit dem oft befressenen Hornklee auch an den xerothermsten und beweidetsten Stellen vorkommen könnte. Ein signifikanter Unterschied (Tabelle 11) ist nur bei starken Vorkommen gegeben. Dabei spielt aber nicht der *Lotus*-Anteil des Summenindex die entscheidende Rolle, sondern derjenige von *Lathyrus/Vicia/Trifolium*. Die hier zusammengefaßten Arten haben ihren Schwerpunkt in Magerrasen ähnlich wie das Widderchen eher in mesophilen Säumen, so daß nicht die Futterpflanzen an sich, sondern die Standortbedingungen derselben die entscheidende Rolle spielen dürften.

Bei *Z. loti* haben besiedelte Flächen im Vergleich zu unbesiedelten einen nur tendenziell höheren mittleren Index von *Hippocrepis/Coronilla/Onobrychis*, so daß die Raupennahrungspflanze nicht der wichtigste Grund für eine Beschränkung der beobachteten Verbreitung und Abundanz sein dürfte. Interessanterweise deckte sich aber das sehr kleinflächige Vorkommen des Widderchens in manchen Gebieten mit der wichtigsten Art *Hippocrepis comosa*.

Zusammenfassend wurden das Verbreitungsbild und die Abundanz der Widderchen von dem Zusammenspiel aus Neigung/Exposition, Magerkeit/Beweidung/Lückigkeit und Nahrungspflanzenhäufigkeit beeinflusst. Dabei waren beispielsweise *Z. minos* und *Z. carniolica* mehr mit abiotischen Faktoren wie Exposition und Hängigkeit korreliert, während besonders bei *Z. transalpina*, aber auch bei *Z. ephialtes* ein stärkerer Zusammenhang mit dem selteneren und im Untersuchungsgebiet teils lokalen Vorkommen der Raupennahrung gegeben war.

### 3.6 Weitere Aspekte zur Larvalökologie

#### 3.6.1 Verhalten

Überwinterte Raupen nutzten nach Beendigung der Diapause jede Möglichkeit zur Nahrungsaufnahme. Im April 2001 wurden am Ramenstein in Südexposition während eines Kaltlufteinbruchs mit Schneeschauern bei knapp über 0° Celsius während sonniger Phasen zwischen Raupen von *Z. minos* und *Z. purpuralis* beim Fressen beobachtet. Die Sonne erwärmte den Boden und die bodennahen Pflanzenteile am Südhang schon nach kurzer Zeit auf über 10°, was den Tieren die Nahrungsaufnahme ermöglichte. Beim Heranziehen eines weiteren Schauers verbargen sich die Räumchen wieder an der Basis der Blätter bzw. im *Thymus*-Polster. Bei besonders warm-trockener, sonniger Witterung im Frühjahr konnten andererseits tagsüber kaum Raupen aus den *Thymus*-Polstern geklopft werden, so daß sie sich vermutlich im Moos oder ganz an der Basis verbargen.

Raupen von *Z. minos* lebten bis zum letzten Stadium meist verborgen in der an den Fundstellen stets üppig entwickelten Mooschicht. Die am 13.III.02 bei sonnigem Wetter im Steinenfeld gefundenen Raupen saßen unterhalb eines befressenen Blattes im Moos *Hypnum lacunosum*. Zu dieser Zeit hatte die Nahrungspflanze Kleine Bibernelle erst recht spärlich ausgetrieben, so daß die Tiere mitunter mehrere Dezimeter zur nächsten Pflanze zurücklegen mußten.

Die als Jungraupe auffälligen Platzminenfraß verursachende *Z. carniolica* (Farbtafel 5a) blieb tags im April sowohl bei Temperaturen von wenigen Graden über Null als auch bei sonnigem Wetter und 20° Celsius meist an der Nahrungspflanze und nutzte dabei jede Gelegenheit zur Nahrungsaufnahme. *Zygaena filipendulae* verursachte einen ähnlichen, aber weit unauffälligeren Platzminenfraß als kleine, noch grüne Raupe. Sie verließ anscheinend zumindest an sonnigen Tagen im Frühjahr und Frühsommer ihre Nahrungspflanze, um sich in Grashorsten oder Moos zu verbergen. Danach wurde wohl teils nicht mehr der gleiche *Lotus*-Trieb befressen, was die Fraßspuren weniger auffällig machte.

Auch bei älteren *Z. filipendulae*-Raupen fand ich an bedeckten, sogar feuchten, aber warmen Tagen in den Abendstunden am meisten Larven. Erst im weitgehend ausgewachsenen Zustand waren die nun gelb-schwarz gefärbten Tiere auch in der Mittagszeit häufiger als in jüngeren Stadien auf der Pflanze fressend oder an Grashalmen erhöht ruhend anzutreffen.

*Zygaena transalpina* lebte als Jungraupe vor und nach der Überwinterung anscheinend sehr versteckt in und unter den *Hippocrepis*-Polstern besonders da, wo diese mit Grashorsten verzahnt waren. Dafür spricht die schlechte Auffindbarkeit der Tiere im ersten Stadium nach der Diapause im Freiland. So wurde nur eine Junglarve im April 2001 aus der Basis eines *Hippocrepis*-Polsters geschüttelt. Die Farbe der Raupen war zu dieser Zeit ziemlich dunkelgrau (auch Zuchtbeobachtungen). Erst wenn die Tiere etwa halb ausgewachsen und gelb waren, führten sie ein weniger verstecktes Dasein. So traf ich sie besonders am Wartberg in der Abenddämmerung oder an trüben Tagen zahlreich an der Nahrungspflanze und an Halmen an. Aber auch hier waren erst die weitgehend ausgewachsenen Raupen auch im Sonnenschein mittags erhöht an Halmen zu beobachten, während die jüngeren Raupen besonders sonnige Phasen versteckt unter Fiedern der Nahrungspflanze oder sonst bodennah zu brachten (Freiland- und Zuchtbeobachtungen).

### 3.6.2 Larvalhabitat

Das Larvalhabitat ist bei den Widderchen im allgemeinen makroskopisch mit dem Imaginalhabitat weitgehend identisch (vgl. HOFMANN 1994). Abweichungen wurden besonders durch unterschiedliche Verteilung von Blütenangebot und Raupennahrungspflanze in einem Gebiet sowie die kleinräumige Verteilung von Sonderstrukturen (Schotterbereiche, Ameisenhaufen, Böschungen) bestimmt. Im folgenden sollen ergänzend zur Gebietsanalyse (3.5) besonders Schwerpunkte mit den meisten Raupenfunden dargestellt werden (gebietsspezifische Einzeldaten siehe Datenbank „Zygaenidae“ auf CD).

#### *Zygaena loti*

Raupennachweise liegen bei dieser Art von mageren, niedrigwüchsigen Stellen mit gut ausgebildeter Moosschicht (oft *Abietinella abietina* oder *Hypnum lacunosum*) und flächigen *Hippocrepis*-Polstern vor (Wartberg, Eselsburger Tal, Hirschhalde). Daneben wurden *Coronilla varia*- und *Onobrychis*-Bestände beispielsweise an xerothermen, unbeweideten Böschungen und auf Abraumhalden von Steinbrüchen besiedelt (Moldenberg, Hirschhalde, Anhausen). Außerdem fand ich Larven der Art auch mit Esparssette und/oder Kronwicke in deutlich mesophileren und verfilzten Beständen (Plateauheide an der Hirschhalde, Anhausen).

#### *Zygaena minos*

Hier liegen fast alle Raupenfunde von süd- bis südwestexponierten, xerothermen Hängen vor. In ebenen, nordwestexponierten oder stark verfilzten Bereichen wurden keine Raupen gefunden. Trotz dieses stark xerothermen Zuges wiesen viele Raupenfundstellen, beispielsweise am Ramenstein (vgl. Vegetationstabelle im Anhang) eine etwas höhere, wenn auch schütterere Vertikalstruktur bei gleichzeitig gut ausgebildeter Moosschicht auf.

#### *Zygaena purpuralis*

Diese Art wurde im Untersuchungsgebiet auch als Larve in wesentlich mehr unterschiedlichen Lebensräumen gefunden. In höchster Dichte traf ich Raupen in südexponierten, flächigen Thymianpolstern über Moos, Geröll oder zwischen Grashorsten an (Ramenstein, südliche Bläßhalde). Oft fanden sie sich auch auf Ameisenhaufen, besonders in stellenweise verfilzten Gebieten (Hirschhalde, Moldenberg). Daneben wurden aber auch west-, ost- und nordwestexponierte Hänge stärker von Raupen besiedelt, sofern *Thymus* ausreichend vorkam (Rappeshalde, nördlicher Wartberg, Kelzberg-Nordwesthang). Magerrasen in lockerem Kiefernwald (nördlicher Wartberg), wechselfeuchte Flachmoorflächen mit Quellkalkhügeln (Langes Feld) und bodensaure, frische Heiden mit *Calluna* (Mühlhalde) wurden wahrschein-

lich von Raupen der Art ebenfalls als Entwicklungshabitat genutzt. Von letzteren beiden Gebieten liegen allerdings zwar Falter-, aber keine Raupenfunde vor.

#### *Zygaena viciae*

Die Raupen dieser Art fand ich gehäuft in ebenen bis wenig geneigten, mesophilen und leicht verfilzten Magerrasen (Hirschhalde: Plateauheide im Norden, Mühlhalde, Anhausen, Teile der Geißkanzel). Stark xerotherme, lückig bewachsene Stellen blieben dagegen ohne Raupenfunde. Sehr magere und niedrigwüchsige Bereiche wurden meist nur in West- oder Nordwestlage stärker besiedelt (Kelzberg). In allgemein intensiver beweideten und xerothermen Gebieten wie dem Benzenberg und dem Eselsburger Tal waren Raupen der Art weitgehend auf verfilztere und mesophilere Bereiche am unteren Rand der Hänge (z.B. Mühlthal) beschränkt.

#### *Zygaena lonicerae*

Die wenigen Raupen dieser Art fanden sich im Untersuchungsgebiet am ehesten in *Z. viciae*-Habitaten, also etwas verfilzten Bereichen mit höherer Vegetation in Kontakt zu Buschgruppen oder Wald (Hirschhalde, Bläßhalde, Moldenberg).

#### *Zygaena ephialtes*

Als Larve besiedelte die im Untersuchungsgebiet individuenschwache Art trocken-warme Bereiche mit höherer, wenig von Schafen verbissener Saumvegetation in Wacholderheiden (Wartberg, Benzenberg) oder *Coronilla varia*-Bestände an Böschungen und Abraumhalden in unbeweideten Steinbrüchen (Moldenberg). Außerhalb der Magerrasengebiete entwickelte sich die Art zudem in ruderalisierten, ungemähten Säumen zwischen Äckern und Wegen (westlich des Kunigundenbühl) und erreichte hier als Falter teils höhere Dichten als in den Wacholderheiden.

#### *Zygaena carniolica*

Das Esparsetten-Widderchen war als Raupe auf heiße Süd- bis Westhänge konzentriert. Die höchsten Raupendichten wurden dort beobachtet, wo *Lotus corniculatus* (oft ssp. *hirsutus*) in schütterer Vegetation mit geringer Höhe flächig magere Einzeltriebe über Moos oder Schottertrieb, so an Wartberg, Hirschhalde, Benzenberg sowie in Heiden am Riesrand bei Bopfingen. Die Beweidung konnte dabei durchaus etwas intensiver sein. Besonders mit *Onobrychis* drangen Raupen von *Z. carniolica* auch in verfilztere Bereiche ein (östlicher Teil des Wartbergs), solange eine gewisse Xerothermie und südliche Exposition gegeben waren.

#### *Zygaena transalpina*

Auch diese Art fand ich als Raupe besonders an xerothermen Stellen. So gelangen keine Funde an Nordwesthängen (Anhausen, Arphalde) trotz teils reicher *Hippocrepis*-Bestände und unmittelbar benachbartem Vorkommen. Sämtliche Raupenfundstellen zeichneten sich durch Hängigkeit, eine gewisse Xerothermie und große *Hippocrepis*-Vorkommen aus. Mit dieser Pflanze und weiteren Arten wie ganz besonders der Kugelblume (*Globularia elongata*) wies die Art zwei Optimalbereiche auf. Einerseits fand sie sich an im Frühjahr wechsellückigen, mergeligen und mageren Süd- bis Westhängen mit dem Frühlings-Enzian (*Gentiana verna*), so an Kunigundenbühl, Wartberg, in den Gebieten Höllteiche und Hochfeld (beide bei Fleinheim nordöstlich von Nattheim) oder Riegel (Ostalbkreis: Neresheim) und zum anderen an heißen felsig-steinigen Hängen wie Irpfl, Läutenberg (Giengen) oder bei Iggenhausen (Kreis Heidenheim: Dischingen). Daneben wurden auch Raupen in anderen warmen und *Hippocrepis*-reichen Wacholderheiden angetroffen. Immer aber war eine gewisse Tendenz zu leicht höherwüchsigen Beständen aus Graslilie (*Anthericum ramosum*), Ochsenauge (*Buphthalmum salicifolium*), Gräsern (*Bromus erectus*), Hirschwurz (*Peucedanum cervaria*) und anderen Arten vor allem des Verbandes Geranion sanguinei auszumachen.

### *Zygaena filipendulae*

Die häufigste Art wies auch als Raupe das größte Habitatspektrum aller Widderchen des Untersuchungsgebietes auf. So fehlten Raupen der Art mit dem Hornklee in keinem Halbtrockenrasen, ob er nun bodensauer und frisch, felsig und xerotherm oder ruderalisiert ausgebildet war. In höchster Dichte fand ich die Raupen aber in magerer bis nur mäßig verfilzter Vegetation mit flächigem Vorkommen von Hornklee über Moos (*Hypnum lacunosum*, *Abietinella abietina* und andere) an warmen Hängen oder auf Plateaus (Wartberg, Benzenberg, Hetzenäcker). Dabei schien der Anteil sich spät entwickelnder Raupen (Juli bis August) mit der Xerothermie des Lebensraumes (Wartberg, Benzenberg) eher noch zuzunehmen, während umgekehrt mehr Raupen an mesophileren und verfilzteren Stellen (Mühlhalde, nördliche Plateauhalde der Hirschhalde, Bläßhalde) bereits im Juni verpuppungsreif waren. Von dieser Art wurden auch als Raupe Nordwest- und Nordhänge besiedelt (Arphalde, Anhausen, Eselsburger Tal, Kelzberg).

## 3.7 Zuchtergebnisse

### 3.7.1 *Zygaena filipendulae*

Bei *Z. filipendulae* wurden 2000 Zuchten mit Eiablagen mehrerer WW vom 3. (Wartberg) und 25. August (Hetzenäcker) sowie 19. September (Ramenstein) begonnen, die bis zur Diapause in Schnappdeckelgläschen durchgeführt wurden. Dabei hielt ich die ersten beiden Gruppen im unbeheizten Zimmer an einer Fensterbank und letztere im Freiland an einer regengeschützten Stelle. Die Eidauer betrug bei der ersten Gruppe 10-11 Tage, bei der zweiten 16 Tage und bei der dritten bei bereits kühleren Herbsttemperaturen 26 bis 35 Tage.

Die Larven des Zuchtmaterials vom Wartberg erreichten nach drei bis vier Wochen meist das Diapausestadium L<sub>4D</sub> (wenige L<sub>3D</sub>/L<sub>5D</sub>) und diejenigen vom Gebiet Hetzenäcker dasselbe Stadium (95 von 110 Raupen, einige wenige auch L<sub>3D</sub>- oder L<sub>5D</sub>) ab dem 29. September und besonders in der ersten Oktoberhälfte, einige wenige erst Ende Oktober.

Die im Freiland gehaltenen Tiere vom Ramenstein, die erst vom 16. bis 25. Oktober aus dem Ei schlüpften, entwickelten sich sehr langsam. Ohne daß sie sich vorher bereits gehäutet hätten, führten etwa 30 Tiere um den 23. November die Diapausehäutung zu L<sub>2D</sub> durch. Im folgenden Winter waren die Verluste bei den sehr kleinen Tieren (zuchtbedingt?) überdurchschnittlich hoch.

Auch bei einer Zucht bis zum Diapausestadium mit Eiern vom 29.VII. 2001 aus dem Reibertal überwinterte der Großteil (30 Tiere) nach etwa drei Wochen Raupenzeit als L<sub>4D</sub>, der kleine Rest als L<sub>3D</sub> oder L<sub>5D</sub>. Die Eidauer war hier mit neun Tagen bei großer Hitze etwas kürzer.

Am 5. und 12. April 2001 wurden noch in Diapause befindliche L<sub>4D</sub>-Larven von der Wartberg- und der Hetzenäckergruppe zum einen in ein geheiztes Zimmer, zum anderen in ein ungeheiztes Zimmer und schließlich noch zum Teil an eine halbschattige Stelle im Freien verbracht. Am 10. und 23. April setzte ich weitere Larven in Diapause auf eine besonnte Terrasse in Gazetöpfe.

Im geheizten Zimmer vergingen zwischen 10 und 25 Tage (Tabelle 12) bis zum Abstreifen der Diapausehaut, im ungeheizten im Fall der Nachkommen eines W drei bis sieben Tage und bei denen eines anderen Tieres 10 bis 23. Im Freiland waren in einem Fall (5 Larven vom 5.IV.) nach fünf bis 20 Tagen alle Tiere gehäutet, in zwei anderen (insgesamt 28 Tiere vom 12.IV.) erst nach 21 bis 43 mit leichtem Maximum der Häutungen bei 30 Tagen. Diese Larven beendeten die freßinaktive Überwinterungsphase erst um Mitte Mai.

In den Blumentöpfen auf der Terrasse war die erste von 30 Larven (Gruppe vom 10. April) nach 10 Tagen gehäutet, der Großteil aber erst nach 30 und die letzten beiden nach 45 Tagen. In dem erst am 23. April mit 20 Tieren bestückten Topf fand die Häutung nach sechs bis 28 Tagen mit Maximum um den 10. Mai statt.

In der weiteren Entwicklung führten die als L<sub>4D</sub> überwinterten und sich im gleichen Jahr entwickelnden Tiere noch drei weitere Häutungen durch, so daß mit den drei Stadien vor der Überwinterung insgesamt sieben Freßstadien vorhanden waren. Die Entwicklungsdauer nach der Häutung aus der Diapause bis zur Verpuppung betrug dabei im Zimmer um sieben bis acht und im Freiland etwa acht bis neun Wochen. Der Anteil der Tiere, die eine repetitive Diapause eingingen, lag bei 10 bis 20 %. Hier gab es ebenfalls Unterschiede zwischen den einzelnen Gelegen. Diese Raupen hatten zuvor ein bis maximal zwei freßaktive Stadien hinter sich.

Auch eine dritte Diapause scheint vorzukommen. So wurde bei Anhausen am 24.IV.2001 eine noch in Diapause befindliche Larve gefunden, die mit sechs Millimetern Länge im Ruhezustand und ziemlicher Dicke mit großer Wahrscheinlichkeit nach den gemachten Zuchterfahrungen bereits bei der zweiten Überwinterung war. Nachdem sie sich am 28. April gehäutet hatte, war sie bereits ab dem 11. Mai nach nur einem Stadium mit 10 Millimetern wieder in Diapause.

2001 wurde weiterhin eine Zucht (Fensterbank) mit Material aus einem Moorkomplex bei Füßen durchgeführt. In den Feuchtgebieten mit *Lotus uliginosus* (= *L. pedunculatus*) am Alpenrand liegt die Flugzeit von *Z. filipendulae* etwas früher, nämlich von Juni bis Mitte August. Nach der Ablage vom 8./9.VII.01 schlüpfen 26 Larven am 16. Juli. Ein Tier ging bereits ab dem 23. Juli als L<sub>2D</sub> in Diapause, die Mehrzahl ab dem 29. Juli als L<sub>3D</sub>. Nur sechs Tiere fraßen ein Stadium weiter und häuteten sich bis 6. August in L<sub>4D</sub>. Interessanterweise waren am 20. August sieben Tiere gehäutet, sechs davon aber weiter in Diapause. Nur ein Tier nahm Nahrung auf. Bis Mitte September häuteten sich weitere 14 Tiere, von denen acht (ursprünglich L<sub>3D</sub>) zu fressen begannen. Am 23. September befanden sich wieder alle Tiere in Diapause, wobei die Größe der Tiere, die nochmals gefressen hatten, etwa solchen in L<sub>4D</sub> bis L<sub>5D</sub> entsprach. Am 7. Oktober waren wieder zwei Tiere aus der Diapause gehäutet und fraßen während eines weiteren Stadiums.

Somit bedeutet eine Diapausehäutung nicht unbedingt eine nachfolgende Überwinterung. Weiterhin können mehrere Diapausehäutungen durchgeführt werden, ohne daß es zur Nahrungsaufnahme dazwischen kommt.

Ergänzend wurden im Frühjahr 2002 20 als L<sub>4D</sub> überwinterte Tiere (Herkunft Reibertal, Juli 2001) bereits ab dem 1.II. auf der Terrasse gehalten. Bis zum 1.IV. waren erst zwei Tiere freßaktiv, der große Rest jedoch weiter in Diapause.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß eine große Variabilität im Überwinterungsverhalten bestand. Die Tiere gingen in verschiedenen Stadien ab der ersten Häutung in Diapause, wobei die Entwicklungszeit im Herbst (Eiablagen im September) sehr lange bis Ende November dauern konnte und die Diapause sich zu jüngeren Stadien verschob. Aus früh im Juli abgelegten Eiern schlüpfende Larven waren dagegen bereits ab August in Diapause. Im Frühjahr war eine große Streuung innerhalb der Tiere eines Geleges und zwischen den Nachkommen verschiedener WW festzustellen, was die Beendigung der Diapause betrifft. Insgesamt lag der Aktivitätsbeginn in der Zucht eher spät zwischen Mitte April und Ende Mai mit Maximum um den 10. Mai.

### 3.7.2 *Zygaena transalpina*

Beim Hufeisenklee-Widderchen wurden Mitte August 2000 zwei WW vom Wartberg zur Ablage gebracht. Die etwa 120 Larven schlüpfen am 7. September und erreichten zum größeren Teil (90 Tiere) Anfang Oktober das L<sub>4D</sub>-Stadium (Tabelle 12) und zum anderen zwei Wochen später das L<sub>5D</sub>-Stadium. Nur eine überwinterte als L<sub>3D</sub>.

Im Frühjahr teilte ich die Tiere wie bei *Z. filipendulae* beschrieben auf. Im geheizten Zimmer waren alle acht Tiere (Hereinnahme 11. April) nach vier bis neun Tagen gehäutet. Nach zwei Freßstadien gingen vier Tiere wieder in eine repetitive Diapause, drei fraßen bis zur Verpuppung Ende Juni durch. Eine Raupe ging ein.

Von sieben am 5. April in ein ungeheiztes Zimmer gebrachten Larven, häuteten sich vier nach vier Tagen und drei nach 15 bis 20 Tagen. Zwischen Ende April und Ende Mai häuteten sich alle Tiere wieder in eine repetitive Diapause. Dabei hatten vier nur während eines Stadiums gefressen, zwei in zwei Stadien und eine während dreier. Letztere Raupe maß dabei über einen Zentimeter Länge und war im L<sub>8<sub>2D</sub></sub>-Stadium.

Die ab 11.IV. im Freiland gehaltenen 47 Tiere brauchten zwischen acht und 40 Tagen zur Häutung, die von Mitte April bis 20. Mai stattfand. Auch hier gab es Unterschiede zwischen den Nachkommen der beiden WW. In einem Fall häuteten sich die Tiere früher und weniger streuend (8-20 Tage). Insgesamt führten 15 % der Tiere eine weitere Diapausehäutung durch. Bei sieben versuchsweise in einem schwarzen Filmdöschen unter Lichtausschluß gehaltenen Tieren legten allerdings alle Tiere eine weitere Diapause ein, was einen Einfluß der Tageslänge auf die repetitive Diapause wahrscheinlich macht.

Am 12.III.01 wurden 12 Raupen in einen Blumentopf auf die Terrasse überführt. Am 9. April wurden erstmals vier gehäutete neben einer ungehäuteten Larve beobachtet. Bis zum 19. April schienen alle gehäutet zu sein. Ausgewachsen waren die Tiere dann etwa Mitte Juni. Am 10. April verbrachte ich schließlich 16 Raupen in einen weiteren Blumentopf. Bis 3. Mai waren alle beobachteten Tiere aus der Diapause gehäutet (insgesamt 5-23 Tage). Die Verpuppung fand hier Ende Juni bis Anfang Juli statt. Einige wenige Raupen legten jeweils eine weitere Diapause ein.

Insgesamt liegt bei *Z. transalpina* ebenfalls eine größere Variabilität im Aktivitätsbeginn im Frühjahr vor, die aber zeitlich nach hinten etwas weniger ausgedehnt war als bei *Z. filipendulae*. So streute der Entwicklungsbeginn der Tiere in der Zucht im Frühjahr stark, sie wurden aber durchschnittlich früher aktiv mit Maximum Ende April und Anfang Mai.

### 3.7.3 *Zygaena loti*

Aus Eiern von der Hirschhalde 2000 schlüpfen die Larven nach neun Tagen am 22. Juli. Nach drei Freßstadien erreichten die 52 Tiere ab dem 9. August das L<sub>4D</sub>-Stadium. Nur zwei Tiere überwinterten als L<sub>5D</sub>. Nach acht Tagen häuteten sich 15 der L<sub>4D</sub>-Tiere erneut, verblieben dabei aber im freßinaktiven Ruhestadium.

Im Frühjahr (Winterverluste bei dieser Art über 60 %) war bei allen Raupen im Vergleich zu den anderen Arten eine stärkere Größenzunahme durch Wasseraufnahme von knapp drei Millimetern Länge auf bis 4,5 Millimeter noch im Diapausestadium sehr auffallend. Im ungeheizten Zimmer (ab 5. April) waren nach mindestens vier bis höchstens 18 Tagen alle acht Larven freßaktiv, also gehäutet.

Eine einzelne L<sub>4D</sub>-Raupe hielt ich bereits ab dem 26.II.01 im geheizten Zimmer. Sie häutete sich am 10. März und verpuppte sich nach vier Freßstadien am Ende von L<sub>8</sub>.

Im Freiland häuteten sich fünf von acht Tieren nach 28 Tagen am 3. Mai synchron zur gleichen Zeit. Die anderen drei gingen ein. Nach zwei freßaktiven Stadien ging ein Tier in repetitive Diapause, die anderen verpuppten sich um Mitte bis Ende Juni.

Neun am 12. März auf eingetopftes *Hippocrepis* gegebene Larven waren bis 19. April gehäutet und verpuppten sich Ende Mai bis Mitte Juni. Sechs Larven wurden erst ab dem 10. April in einem weiteren Blumentopf gehalten. Hier waren die Tiere ebenfalls ab dem 19. April freßaktiv und verpuppten sich im Juni. Ein Tier konnte bei einer repetitiven Diapause beobachtet werden.

Als L<sub>4D</sub> überwinterte Tiere brauchten im Frühjahr drei (n = 7) bis teils vier (n = 5) Freßstadien bis zur Verpuppung, eine als L<sub>5D</sub> überwinterte drei Stadien.

2002 setzte ich bereits am 1. Februar 20 als L<sub>4D</sub> überwinterte Larven (Hirschhalde) auf die besonnte Terrasse an eingetopften Hufeisenklee. Nach einigen Tagen warmer, son-niger Witterung bis über 20° Celsius an der Sonne häuteten sich sechs Raupen bereits bis zum 11.III., die restlichen bis zum 16.III, also wesentlich früher als die im Vorjahr erst später aus der kühleren Garage auf die Terrasse geholten Tiere.

Insgesamt zeigen die Daten von *Zygaena loti* keine sehr große Streuung im Aktivitätsbeginn im Frühjahr. Dieser lag zudem mit Mitte März bis Mitte April deutlich früher als bei *Z. transalpina* und *Z. filipendulae*.

### **3.7.4 *Zygaena viciae*, *Z. minos*, *Z. purpuralis* und *Z. carniolica***

Bei *Z. minos* wurde 2001 ein Eigelege bis zur Diapause gezüchtet (Steinenfeld). Von der Ablage am 21.VI.01 schlüpfen die Rüpchen am 1. Juli. Nachdem sie im Abstand von je gut einer Woche zwei normale Häutungen durchführten, erreichten 20 der 24 Tiere mit der dritten Häutung vom 25. – 27. Juli das Diapausestadium L<sub>4D</sub> und wurden größtenteils wieder ausgesetzt. Die restlichen vier Raupen gingen ab 31. Juli in L<sub>5D</sub>. Auch einige wenige im Vorjahr bis zur Diapause determinationshalber gezüchtete Tiere (Lindletal) erreichten meist das Stadium L<sub>4D</sub> und in einem Fall L<sub>5D</sub>, so daß ersteres als Hauptstadium bei der ersten Überwinterung gelten kann. Eine repetitive Diapause kommt hier nach einigen Beobachtungen ebenfalls vor. Zwei der am 13.III.02 bei Gerstetten (vgl. 3.3.1) gefundenen Raupen (höchstwahrscheinlich nach L<sub>4D</sub>) benötigten bei Zimmerzucht nur zwei weitere Häutungen bis zur Verpuppung, ebenso eine von drei als L<sub>4D</sub> überwinterte Tiere der Eiablage vom 21.VI.01. Die anderen beiden machten drei Häutungen (vier Freßstadien) nach der Häutung aus der Diapause durch.

Von *Z. purpuralis* wurden ebenfalls 2001 Eigelege zweier WW vom Ramenstein bis zur Überwinterung gezogen. Nach acht bis neun Tagen (heiße Sommerwitterung) schlüpfen ca. 40 Larven am 25. und 28. Juli. Nachdem 38 Tiere im Abstand von etwa eineinhalb Wochen zwei normale Wachstumshäutungen absolvierten, gingen sie als L<sub>4D</sub> ab dem 25. August in Diapause. Am 9. September fanden sich wieder 10 Larvenhäute im Gefäß, ohne daß es zu einer Nahrungsaufnahme gekommen wäre. Nur zwei Raupen in einem Gelege überwinterten als L<sub>3D</sub>. Insgesamt waren die Tiere in L<sub>4D</sub> mit gut 3 bis 3,5 Millimetern Länge kleiner als die von *Z. minos* im gleichen Stadium (einheitlich 4 mm). Auch hier kommt eine repetitive Diapause vor. So häuteten sich zwei der am 8.IV.01 am Ramenstein im zweiten Nachdiapausestadium gefundenen Tiere wieder in Diapause.

Gezüchtete Larven von *Z. viciae* (Geißkanzel) überwinterten ab August 2001 meist als L3<sub>D</sub> nach nur 14 Tagen Zuchtdauer der Larven, nur 12 von insgesamt 70 Räumchen als L4<sub>D</sub> oder L5<sub>D</sub> nach teils viel längerem Zeitraum bis zu sieben Wochen.

Einige wenige *Zygaena lonicerae*-Raupen (Geißkanzel) erreichten nach dreieinhalb Wochen Zuchtdauer das Stadium L4<sub>D</sub> und wurden wieder im Biotop ausgesetzt.

Bei *Zygaena carniolica* schlüpften die 20 Larven von einer Eiablage am 20.8.00 (Wartberg) nach 16 Tagen um den 5. September. Bis 20. des Monats waren alle in L2 gehäutet und bis 26. September in L3. Von den 25 Tieren überwinterten ab 2. Oktober fünf als braune L4<sub>D</sub>, der Rest fraß weiter. Bis Mitte November erreichten sie teils die Stadien L5<sub>D</sub> oder L6<sub>D</sub> und ein Tier sogar L7<sub>D</sub> und waren in diesem Fall nicht braun, sondern grün. Die Überwinterung verlief erfolgreich.

Einige der im April 2001 (Hirschhalde, Wartberg) gefundenen Larven (vgl. 3.3.5) häuteten sich in eine repetitive Diapause und waren dann ebenfalls grün. Von der Größe zum Fundzeitpunkt her zu schließen, hatten sie wie die fünf braunen Tiere in der Zucht zuerst als L4<sub>D</sub> überwintert. Die im März 2002 gefundenen Tiere (Hirschhalde) bestätigten diese Annahme.

Tabelle 12: Ergebnisse der Zuchten im Zimmer und unter freilandähnlichen Bedingungen. In den Spalten 4 und 5 sind die einzelnen, von verschiedenen WW abstammenden Gruppen getrennt aufgeführt, wobei ausschließlich im April vom Überwinterungsquartier umgesetzte Larven berücksichtigt sind. Früher im Februar/März auf die Terrasse gebrachte Larven sind dagegen nur bei der Angabe des Datumsbereiches des Aktivitätsbeginns mit eingeflossen. Die in der ersten Spalte, besonders bei *Z. filipendulae* bis *Z. loti*, genannte Anzahl n der Tiere ist nur als ungefähre Angabe der Ausgangszahl zu verstehen (Verluste etwa bei Überwinterung usw.).

Art	Dauer in Tagen vom Schlupf der Larven bis zum Beginn der Diapause	beobachtetes erstes Diapausestadium / <b>häufigstes</b>	Tage bis zum Abstreifen der Diapausehaut bei Zimmerzucht	Tage bei Freilandzucht / Datum der Häutung (Maximum)	beobachtete Anzahl der Freßstadien nach der Überwinterung (L4 <sub>D</sub> )
<i>Z. filipendulae</i> n > 130	20-35	L2 <sub>D</sub> -L5 <sub>D</sub> / <b>L4<sub>D</sub></b>	3-7; 10-25; 10-23	5-20; 21-43; 10-45; 6-28 / E IV-M V.	4 (-5 bei L3 <sub>D</sub> )
<i>Z. transalpina</i> n 120	23-37	L3 <sub>D</sub> -L5 <sub>D</sub> / <b>L4<sub>D</sub></b>	4-9; 4-20	8-20; 9-40; 5-23 / M IV-A V	4
<i>Z. loti</i> n 70	18-27	L4 <sub>D</sub> -L5 <sub>D</sub> / <b>L4<sub>D</sub></b>	4-18	9-14 / M III- M IV	3-4
<i>Z. minos</i> n = 24	24 (L4 <sub>D</sub> )-31 (L5 <sub>D</sub> )	L4 <sub>D</sub> -L5 <sub>D</sub> / <b>L4<sub>D</sub></b>	-	-	3-4 (n = 5)
<i>Z. purpuralis</i> n = 40	29-36	L3 <sub>D</sub> -L4 <sub>D</sub> / <b>L4<sub>D</sub></b>	-	-	4 (n = 11)
<i>Z. carniolica</i> n = 20	27 (L4 <sub>D</sub> )-70 (L7 <sub>D</sub> )	L4 <sub>D</sub> -L7 <sub>D</sub>	-	-	4 (n = 6)
<i>Z. lonicerae</i> n = 12	25-26	<b>L4<sub>D</sub></b>	-	-	-
<i>Z. viciae</i> n = 70	14 (L3 <sub>D</sub> )-49 (L5 <sub>D</sub> )	L3 <sub>D</sub> -L5 <sub>D</sub> / <b>L3<sub>D</sub></b>	-	-	-

### 3.7.5 Kreuzungsversuch von *Z. minos* und *Z. purpuralis*

Am 3.VII.2001 wurden drei durch Zucht erhaltene MM von *Z. purpuralis* und drei WW von *Z. minos* zusammen mit *Knautia*-Blüten und Thymian sowie Bibernelle zusammengespart. Bis vier Tage später waren bei heißem Wetter zwei WW eingegangen, ohne mehr als fünf unbefruchtete Eier gelegt zu haben. Das dritte W legte am 5. Juli ca. 200 Eier ab, aus denen keine

Räupchen schlüpfen. Eine Kopula wurde nicht bemerkt, kann aber nicht ausgeschlossen werden, da die Tiere tagsüber leider nicht beobachtet werden konnten.

Am 6. Juli wurden dann drei MM von *Z. minos* und zwei WW von *Z. purpuralis* zusammengebracht. Auch hier wurde keine Kopula beobachtet, aber ein W legte am 8. Juli über 100 Eier ab, aus denen ebenfalls nichts schlüpfte.

Eine fruchtbare Kreuzung scheint somit nicht vorzukommen. Da aber normalerweise von WW ohne Kopulation nur zögernd wenige Eier über mehrere Tage abgelegt werden, könnten die Beobachtungen für die Möglichkeit einer Kopulation sprechen.

### 3.8 Blütenökologie

#### 3.8.1 Nektarpflanzenspektrum

Während für früh fliegende Arten im Juni und Juli *Echium vulgare*, *Dianthus carthusianorum*, *Knautia arvensis* und *Origanum vulgare* die wichtigsten Nektarpflanzenarten waren, nahm bei spät fliegenden Widderchen die Bedeutung von *Scabiosa columbaria* ab Mitte Juli sprunghaft zu, so daß diese Art beispielsweise bei *Z. transalpina* 71 % aller beobachteten Blütenbesuche ausmacht. Daneben wiesen *Z. loti* und *Z. filipendulae* mit über 35 festgestellten Nektarpflanzen ein weites Spektrum auf, während etwa *Z. transalpina* mit nur 12 Arten als stenanth im Untersuchungsgebiet und -zeitraum bezeichnet werden kann.

Für *Z. minos* hatten drei Arten große Bedeutung als Nektarsaugpflanzen (Abb. 15a), die zusammen 91 % ausmachten. Die meisten Beobachtungen liegen von der Acker-Witwenblume (*Knautia arvensis*) vor, gefolgt von Karthäuser-Nelke (*Dianthus carthusianorum*) und Natternkopf (*Echium vulgare*). Dabei hing es vom Angebot des Fundortes ab, welche Art jeweils wichtig war.

Unter den sonstigen Arten sind der gelbe *Leontodon hispidus* (11 Nachweise), der blaue Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*; fünf Besuche), die Tauben-Skabiose (*Scabiosa columbaria*; sechs Besuche) und die weiße Margerite (*Leucanthemum adustum*; zwei Besuche) erwähnenswert. Mit insgesamt 11 nachgewiesenen Nektarpflanzenarten und einem Diversitätsindex von 1,4 (Tabelle 13) ist *Z. minos* als relativ stenanth im Untersuchungsgebiet zu charakterisieren.

Die Schwesterart *Z. purpuralis* wies ein deutlich anderes Spektrum auf (Abb. 15b). Die mit Abstand wichtigsten Arten waren Dost (*Origanum vulgare*) und Skabiose (*Scabiosa columbaria*) mit jeweils knapp 40 %. Daneben wurden noch *Knautia*, *Dianthus*, *Centaurea jacea* und Disteln in nennenswertem Umfang besucht. Bei hoher Populationsdichte (Ramenstein) besaugten die Falter gelegentlich eher untypische Pflanzen wie Schafgarbe (*Achillea millefolium*; ein Besuch) oder Wilde Möhre (*Daucus carota*; zwei Besuche). Seltener wurden gelbe Blüten angefliegen, so besonders *Senecio jacobaeae*. Mit 28 registrierten Saugpflanzen und einem Index von 1,6 (Tabelle 13) war das Thymian-Widderchen euryanther als seine Schwesterart.

Bei *Z. loti* war *Knautia* mit 34 % die beliebteste Saugpflanze (Abb. 15c). Daneben waren *Origanum*, *Scabiosa*, *Onobrychis* (Esparsette), *Echium* und *Dianthus* bedeutsam, abnehmend in der Reihenfolge ihrer Aufzählung. Gelbe Blüten wurden ebenfalls gelegentlich besucht, so *Senecio jacobaeae*, *Ranunculus bulbosus*, *Erysimum odoratum*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus* oder *Medicago falcata*. Mit 36 festgestellten Arten, darunter auch beispielsweise *Plantago media*, wies *Z. loti* im Gebiet ein weites Nektarpflanzenspektrum auf.

Ein hoher Diversitätsindex von 2,1 (Tabelle 13) deutet ebenfalls auf einen höheren Grad an Euryanthie hin.

*Zygaena viciae* bevorzugte *Origanum* und *Knautia* (je um 40 %). Daneben war nur mehr *Scabiosa* wichtiger (Abb. 15d). Diese drei Arten machten 92 % des gesamten beobachteten Blütenbesuchs aus. Unter den sonstigen Arten sind Disteln (*Cirsium* und *Carduus*), Flockenblumen (*Centaurea*), Wicken (*Vicia cracca* und *V. tenuifolia*) sowie sehr vereinzelt auch gelbe Infloreszenzen (*Sedum reflexum*, *Medicago falcata*, *Bupthalmum salicifolium*) zusammengefaßt. Trotz der immerhin insgesamt 21 besaugten Pflanzenarten ist *Z. viciae* noch als stenanth zu bezeichnen, da nur von 10 Arten mehr als zwei Nachweise vorliegen und der SHANNON-WEAVER-Index mit 1,3 recht niedrig liegt.

Bei *Z. carniolica* war die Skabiose mit 60 % aller Besuche die mit Abstand wichtigste Art (Abb. 15e). Daneben waren besonders noch die Wiesen-Flockenblume (*Centaurea jacea*), in zweiter Linie auch Dost und Knautie sowie Distelarten von Bedeutung. Bis auf einen einzigen Besuch am gelben Sichelklee (*Medicago falcata*) wurden nur rosa-violette bis blaue Arten besaugt. Mit nur 15 registrierten Nektarpflanzenarten und einem Index von 1,3 (Tabelle 13) ist *Z. carniolica* als stenanth zu charakterisieren.

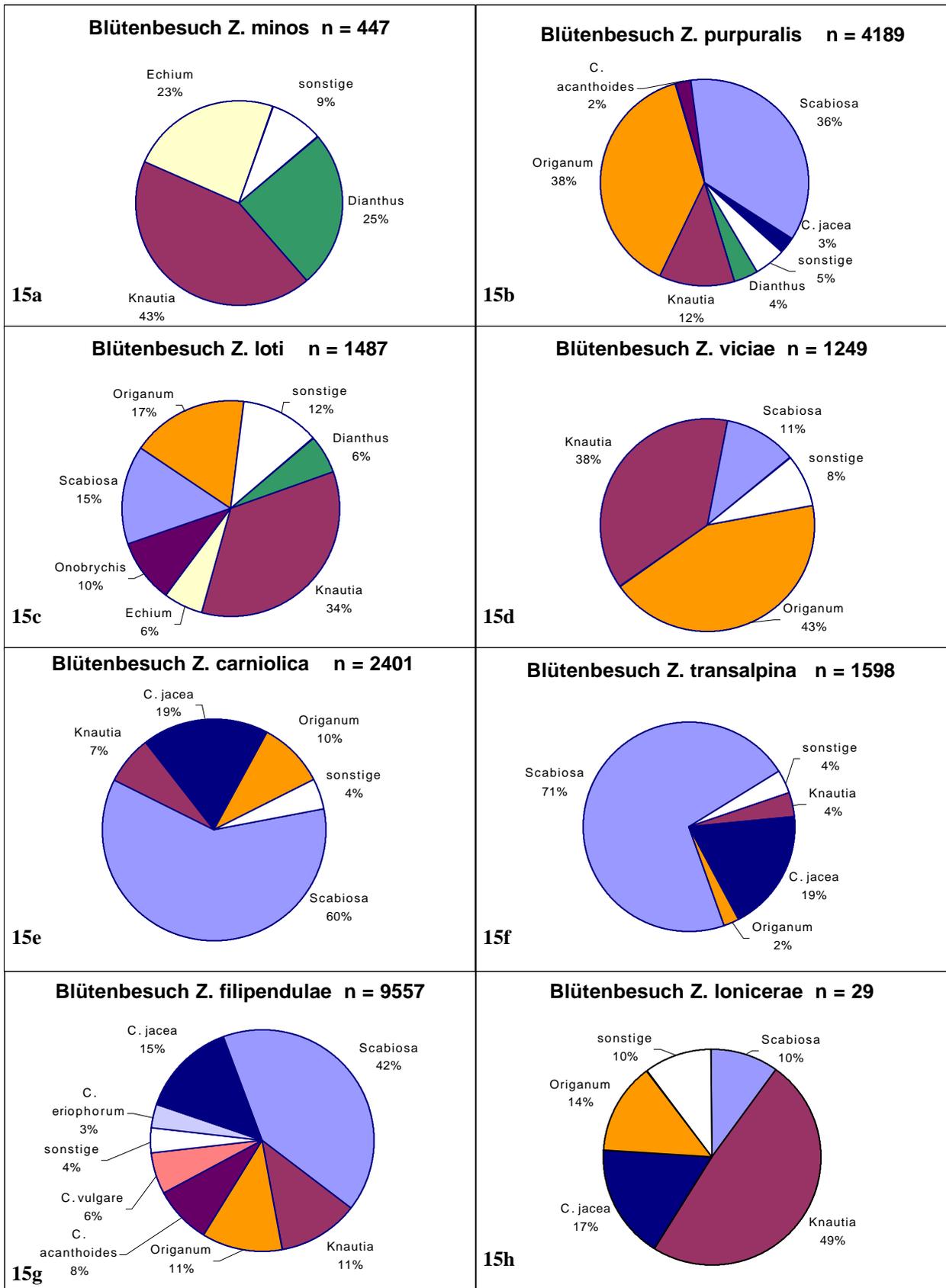
*Zygaena transalpina* wies mit 71 % die mit Abstand stärkste Nutzung von *Scabiosa* auf (Abb. 15f). Nur *Centaurea jacea* war außerdem noch von größerer Bedeutung. Dabei wich der Falter bei einem Mangel an *Scabiosa*-Blüten auch gänzlich auf die Flockenblume aus, so beispielsweise an einem Fundort außerhalb des Untersuchungsgebiets bei Oberkochen (Ostalbkreis). Daneben wurden noch vereinzelt Disteln, Berg-Aster (*Aster amellus*), Dost, Knautie, das gelbe Ochsenauge (*Bupthalmum salicifolium*) und die weiße Grasliebe (*Anthericum ramosum*) besucht. Mit 12 Arten und einem SHANNON-WEAVER-Index von 0,9 war das Blütenspektrum klein, das Widderchen somit im Untersuchungsgebiet sehr stenanth.

*Zygaena filipendulae* nutzte ebenfalls mit 42 % besonders die Skabiose (Abb. 15g). Daneben waren aber noch eine Reihe anderer Arten bedeutsam, so Knautie, Dost, Wiesen-Flockenblume und Disteln. Insgesamt registrierte ich 34 Nektarpflanzenarten, darunter mehrfach Besenheide (*Calluna vulgaris*), Zahntrost (*Odontites serotina*), Wegerich (*Plantago media*) oder Schafgarbe (*Achillea millefolium*). Das Widderchen war somit ziemlich euryanth (Index 1,9).

Bei *Z. ephialtes* und *Z. lonicerae* liegen nur relativ wenige Beobachtungen vor. Letztere bevorzugte die Knautie (Abb. 15h), wobei andere widercherntypische Arten wie Skabiose, Dost und Wiesen-Flockenblume ebenfalls besucht wurden (insgesamt sechs Arten). *Zygaena ephialtes* (Abb. 15i) verteilte ihre Blütenbesuche auf Dost, Skabiose, Knautie sowie Disteln und Wiesen-Flockenblume (insgesamt sieben Arten).

Tabelle 13: Diversitätsindizes nach SHANNON-WEAVER als Maß für die Euryanthie der einzelnen Widderchenarten.

Art	<i>minos</i>	<i>loti</i>	<i>purpur- alis</i>	<i>viciae</i>	<i>carnioli- ca</i>	<i>transal- pina</i>	<i>filipen- dulae</i>	<i>lonicerae</i>	<i>ephialtes</i>
Diversitätsindex	1,4	2,1	1,6	1,3	1,3	0,9	1,9	1,4	1,6



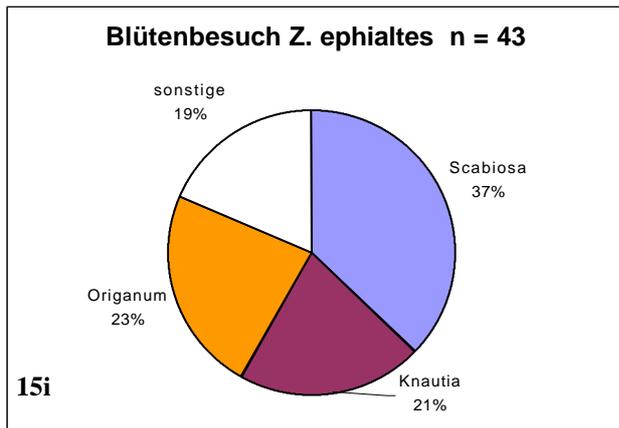


Abb. 15a-i: Blütenbesuch der Rotwiderchenarten im Untersuchungsgebiet. Als Abkürzungen wurden verwendet: C. jacea (*Centaurea jacea*), C. acanthoides (*Carduus acanthoides*), C. eriophorum und C. vulgare (*Cirsium eriophorum*, *Cirsium vulgare*), Knautia (*Knautia arvensis*), Scabiosa (*Scabiosa columbaria*), Origanum (*Origanum vulgare*), Dianthus (*Dianthus carthusianorum*), Echium (*Echium vulgare*) und Onobrychis (*Onobrychis viciifolia*).

### 3.8.2 Blühphänologie und Widderchenabundanz

#### Allgemeine Blühphänologie

Der Blühaspekt der Kalkmagerrasen im Untersuchungsgebiet hatte ein deutliches Maximum im Hochsommer zwischen Juli und August. Insgesamt waren frühere Nektarpflanzenarten (Juni bis Juli) und eher späte (Juli bis September/Oktober) zu unterscheiden. In mageren, xerothermen Biotopen erreichte *Scabiosa columbaria* die mit Abstand größte Blütendichte Ende Juli und im August, während *Knautia arvensis* (Juni bis Anfang August) und *Origanum vulgare* (Juli-Anfang August) den Schwerpunkt ihres Vorkommens in Säumen oder mehr mesophilen Bereichen hatten. In vielen Gebieten herrschte somit von Mitte Juli bis Mitte August das insgesamt größte Blütenangebot.

Die ersten wichtigen Widderchensaugpflanzen begannen kaum vor Juni zu blühen. Nur die im Untersuchungsgebiet relativ selten und nur in manchen Gebieten auftretende Esparsette (*Z. loti*!) blühte besonders von Mitte Mai bis in den Juli, nach Verbiß auch bis September. 2000 öffneten sich erste Knautien, Karthäusernelken und Natternkopf-Infloreszenzen zur Monatswende Mai-Juni. Im Jahr darauf war etwa eine einwöchige Verzögerung festzustellen (Abb. 16). *Knautia* hatte dann in beiden Jahren eine längere, stärkere Blühphase von Ende Juni bis in den August mit Maximum im Juli. Nachblühende Pflanzen waren noch bis Oktober in größerer Zahl festzustellen.

*Dianthus* wies 2000 ein Maximum Ende Juni bis Anfang Juli auf (Abb. 16 a) und nahm danach allmählich ab, blühte aber in geringerer Dichte bis in den Oktober. 2001 wurde das Maximum erst Mitte Juli bis Anfang August erreicht (Abb. 16c). Danach sank der Summenindex bis Oktober wieder auf ähnliche Werte wie im Vorjahr.

*Echium* besaß in beiden Jahren einen deutlichen Blühgipfel, der 2000 Ende Juni bis Anfang Juli und ein Jahr später bei insgesamt geringerer Häufigkeit mehr um Mitte Juli lag. Danach ging die Blühintensität rasch zurück, so daß die Art ab August bedeutungslos wurde. Nur einzelne Pflanzen blühten besonders nach Verbiß durch Schafe bis Anfang Oktober.

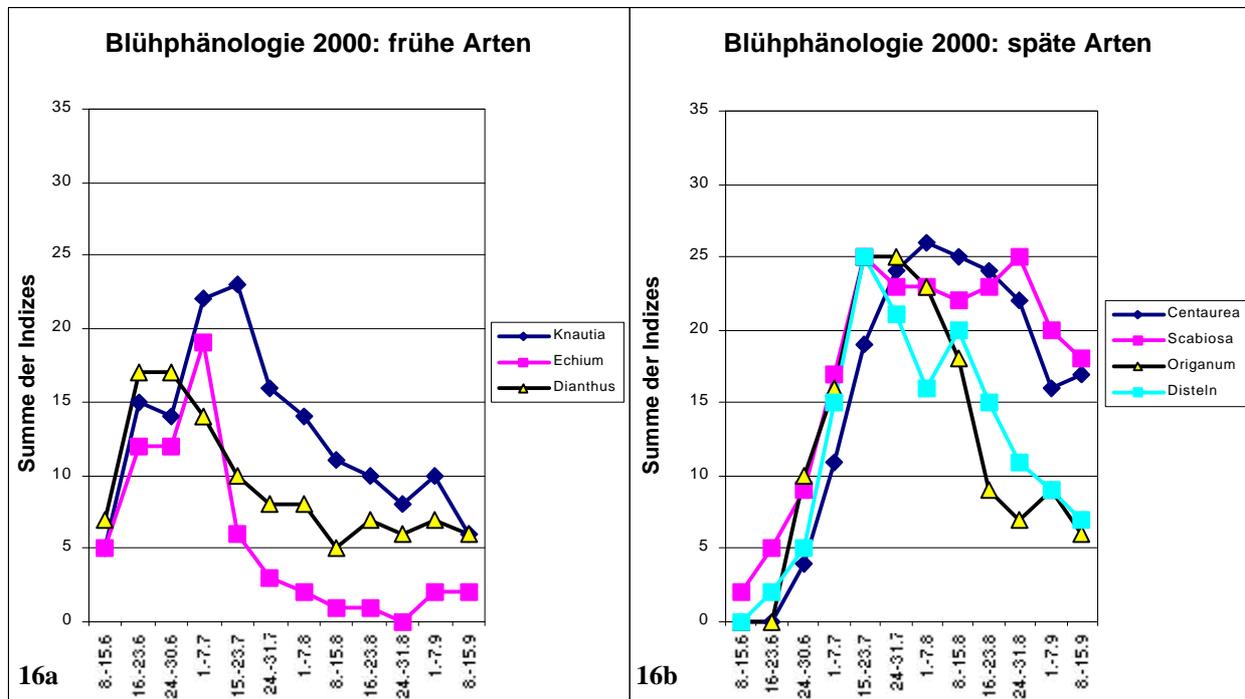
*Origanum vulgare* begann als mittelspäte Art 2000 bereits Ende Juni zu blühen und erreichte schnell ein Maximum Mitte Juli bis Anfang August (Abb. 16b). Danach erfolgte ein

rascher Rückgang. Nachblühende Pflanzen waren besonders an frischeren Stellen bis weit in den September anzutreffen. Im Jahr darauf begann die Blütezeit erst in der zweiten Juliwoche und das Maximum lag von Ende Juli bis Mitte August.

Eine vergleichbare Phänologie hatten auch die Disteln (Sammelindex *Cirsium* und *Carduus*). Sie begannen in beiden Jahren noch Ende Juni zu blühen und erreichten ihr Maximum jeweils zusammen mit dem Dost. Auch hier fand ich nachblühende Individuen bis Ende September und sehr vereinzelt noch im Oktober. Innerhalb dieser Gruppe erschien als früheste Art *Carduus nutans*. Mittelspät waren *C. acanthoides*, *Cirsium eriophorum* und *C. arvense* mit Maximum im Juli. *Cirsium vulgare* fand sich besonders Ende Juli und im August.

Als späte Art begann *Scabiosa columbaria* jeweils zwar sehr vereinzelt bereits Ende Juni zu blühen, hohe Dichten wurden aber erst ab Mitte Juli und besonders im August erreicht. Im September war die Art dann zusammen mit der insgesamt kaum vor Juli erscheinenden und ebenfalls erst im August kulminierenden *Centaurea jacea* die einzige noch in größerer Menge vorhandene Nektarpflanze für Widderchen. Letzte Individuen blühten bis zu den ersten stärkeren Nachtfrösten teils noch im November. 2000 war insgesamt kein deutliches Maximum ausgebildet, sondern eher eine längere Plateauphase. 2001 lag dagegen ein Gipfel um Mitte August vor, der auch einen höheren Summenindex (34 gegen 25) aufwies als im Jahr zuvor.

Nur in dem Flachmoorrest „Langes Feld“, wo die Skabiose vor allem an den flachen Buckeln sehr häufig war, wies sie eine stark abweichende Blühphänologie auf. So begann sie 2000 hier noch in der ersten Junihälfte zu blühen, erreichte bereits Ende Juni ein Maximum und war ab Ende Juli bis auf wenige Einzelpflanzen fast verschwunden.



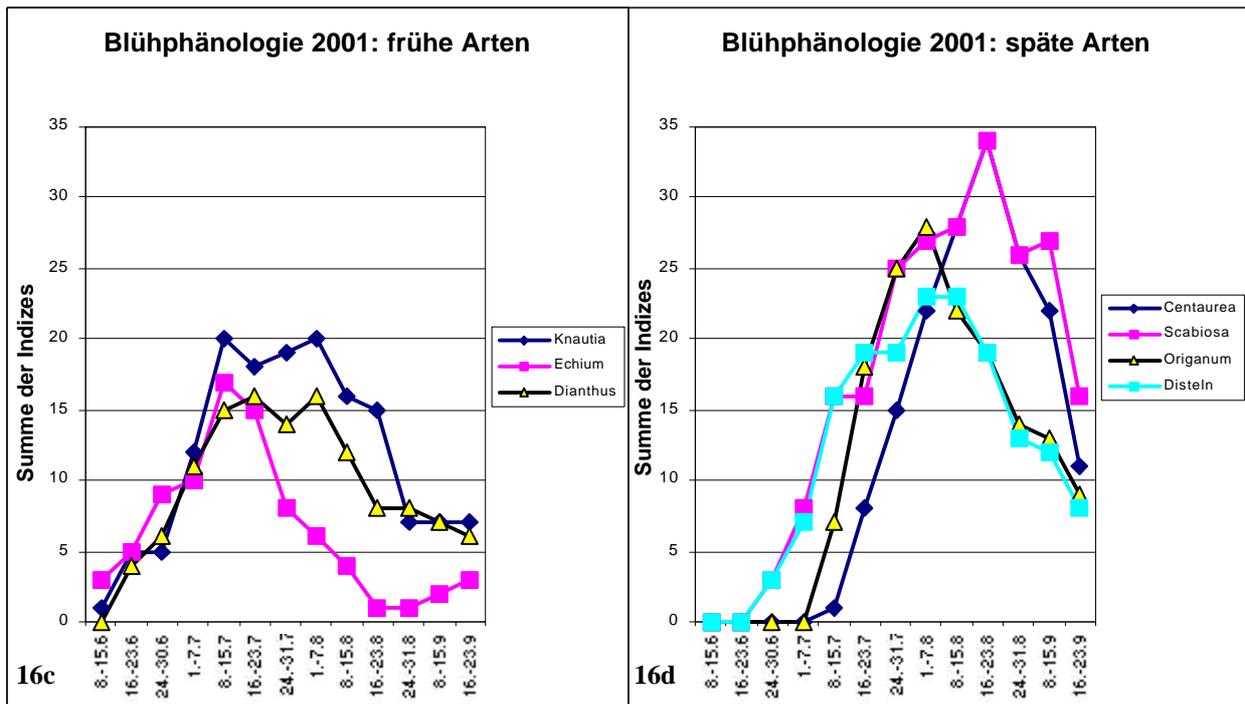


Abb. 16a-d: Blühphänologie (Summe der Indizes der Einzelgebiete) 2000/2001 der wichtigsten Nektarpflanzen (*Knautia arvensis*, *Echium vulgare*, *Dianthus carthusianorum*, *Centaurea jacea*, *Scabiosa columbaria*, *Origanum vulgare*, Disteln als Sammelindex der Arten *Cirsium eriophorum*, *C. vulgare*, *C. arvense*, *C. palustre*, *Carduus nutans* und *C. acanthoides*) in folgenden Gebieten: Mühlhalde, Hirschhalde, Stürzlesberg, Ramenstein, Hetzenäcker, Rappeshalde, Erbisberg, Kunigundenbühl, Anhausen, Wartberg-Süd, Eselsburger Tal (Mühlal), Benzenberg und Eschklinge.

### Blühphänologie und Widderchenabundanz in einzelnen Gebieten

Die Widderchen korrelierten in ihrem Erscheinen in den jeweiligen Gebieten mit der Blühphänologie der typischen Nektarpflanzen (Abb. 17; Tabelle 14). So begann die Flugzeit früher Arten wie *Z. minos* und *Z. loti* erst nach dem Aufblühen von *Knautia*, *Dianthus* und *Echium* im Juni.

Mitte Juli bis Mitte August wurden in vielen Gebieten die höchsten Widderchen- und Blütenzahlen erreicht. Großen Anteil an den Nektarressourcen hatte zu dieser Zeit *Scabiosa columbaria* und teils auch *Centaurea jacea*. Ende August und im September nahm die Summe der Blütenzahlen der bevorzugten Arten allmählich, die der Widderchen sehr schnell ab. Ende September und Anfang Oktober waren zwar oft noch genauso viel oder mehr Blüten vorhanden als Mitte Juni, Widderchen traf ich aber keine mehr an, außer wenigen *Z. filipendulae* in manchen Jahren (2000).

Am Stürzlesberg (Abb. 17a-b) beispielsweise wurde das Maximum des Blütenindex in beiden Jahren von Mitte Juli bis Anfang August erreicht, wobei 2001 eine etwa 50 % höhere Blühdichte herrschte als im Vorjahr. Die Widderchenzahl folgte dieser Blühkurve ziemlich exakt. Ende August und im September ging die Blütenzahl langsamer zurück als die der Widderchen.

Die Mühlhalde (Abb. 17c) zeigt ein ähnliches Bild. Hier wurde das Maximum der Widderchenzahlen bereits Mitte Juli erreicht, was am Vorherrschen von *Z. viciae* liegt. 2001 waren die Widderchen- und die Blütenzahlen zumindest teilweise auch wegen einer starken Beweidung Mitte Juli viel geringer als im Vorjahr.

Am Ramenstein (Abb. 17d) war die dominierende Population von *Z. purpuralis* gut in das Blütenmaximum von *Origanum* und der Disteln von Mitte Juli bis Anfang August ein-

gepaßt (R = 1). Die frühe *Z. minos* war hier Ende Juni und Anfang Juli fast ganz an die vergleichsweise deutlich selteneren *Echium* und *Dianthus* gebunden.

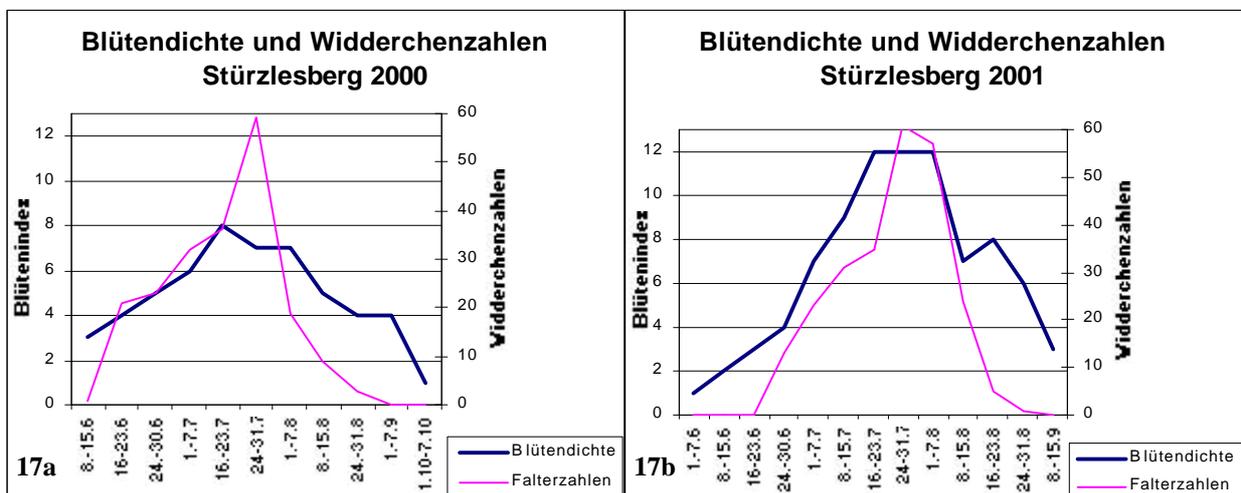
2001 trat am südlichen Wartberg (Abb. 17h) nur 25 % der Individuendichte des Vorjahres auf (Abb. 17h). Hier war das Individuenmaximum im Vergleich zum Maximum des Blütenindex in der Zeitachse etwas nach hinten verschoben und lag um Mitte August. Zu dieser Zeit waren außer den sehr häufigen, aber nur mit maximal „vier“ bewertbaren Skabiösen (vgl. 4.1) und den Wiesen-Flockenblumen nur mehr wenige andere Blüten vorhanden, so daß der Gesamtindex absank. Gerade dann erreichten aber *Z. filipendulae* und *Z. transalpina* ihr Flugmaximum, überlagert noch von der langsam ausklingenden *Z. carniolica*.

Bei den anderen, rein von späten Widderchenarten dominierten Gebieten war diese Verschiebung noch ausgeprägter, so am Erbisberg (Abb. 17f) oder Benzenberg (Abb. 17e). Aber auch hier sanken die Widderchenzahlen im Frühherbst dann deutlich schneller als die Summe der Blüten.

Die Korrelationskoeffizienten (Tabelle 14) liegen bei von mehreren Arten in einigermaßen ausgewogenen Anteilen besiedelten Gebieten zwischen 0,7 und fast eins und zeigen somit einen starken Zusammenhang der Widderchenphänologie mit der ihrer wichtigsten Nektarpflanzen. Nur in Gebieten, in denen entweder nur eine oder zwei Widderchenarten stark dominierten oder die Widderchen im Vergleich zu den Nektarpflanzen aufgrund anderer, etwa das Larvalhabitat betreffender Faktoren, insgesamt selten waren, sind die Korrelationskoeffizienten niedriger (ca. 0,5-0,7).

Tabelle 14: Korrelation von Widderchenabundanz mit dem Gesamtblütenindex (jeweils Wochensummen) nach SPEARMAN.

Gebiet	Koeffizient	p-Wert
Wartberg-süd 2001	0,7	< 1%
Wartberg-süd 2000	0,7	< 1%
Benzenberg 2001	0,6	< 5%
Erbisberg 2001	0,8	< 1%
Mühlhalde 2000	0,9	< 1%
Mühlhalde 2001	0,8	< 1%
Ramenstein 2001	1 (0,95)	< 1%
Stürzlesberg 2001	0,9	< 1%
Stürzlesberg 2000	0,8	< 1%
Hirschhalde 2000	0,9	< 1%



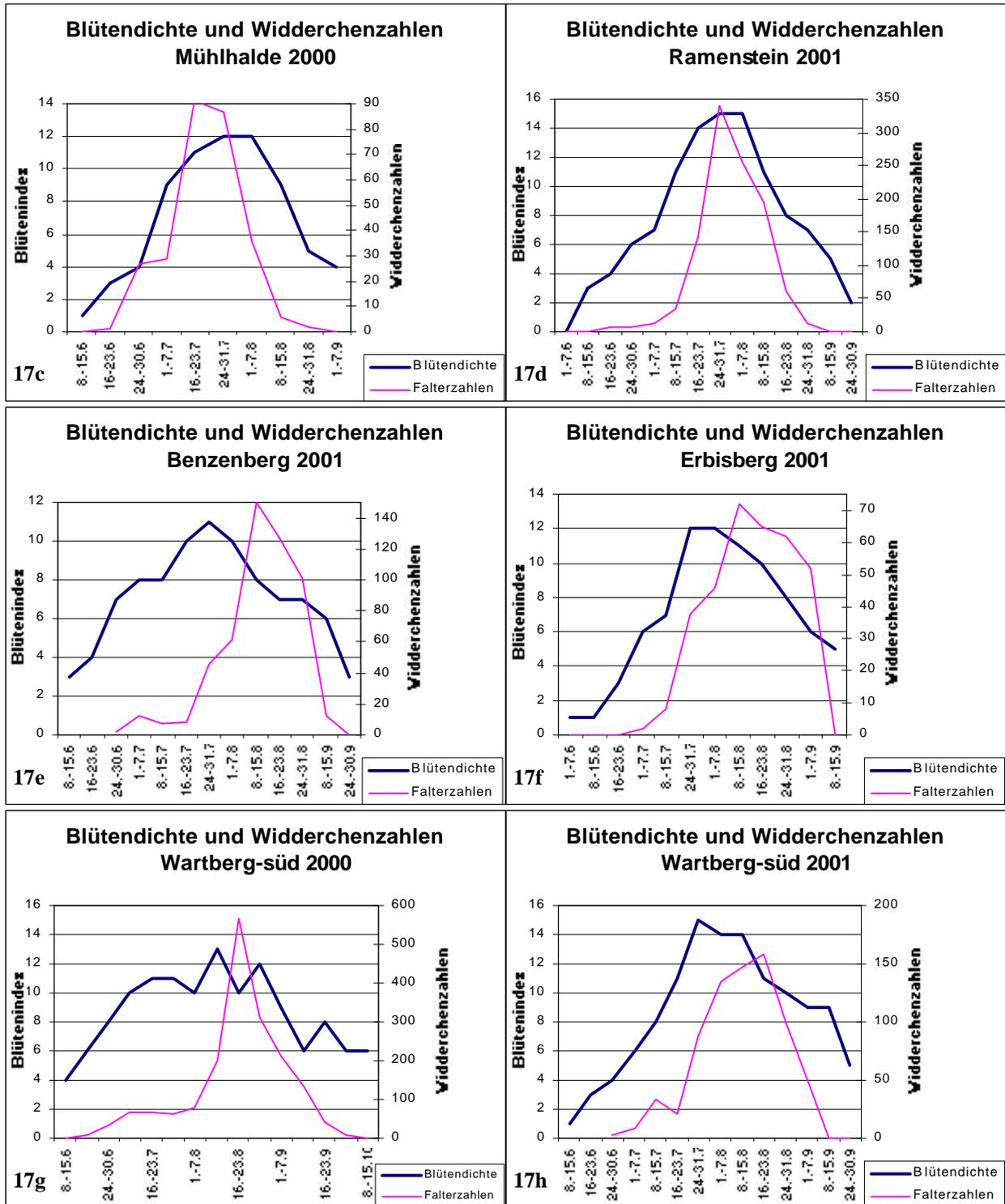


Abb. 17a-h: Phänologie der Widderchen (wöchentliche Individuensummen) im direkten Vergleich zu der der wichtigsten Nektarpflanzen (wöchentliche Indexsummen, Arten wie in Abb. 16) in einigen repräsentativen Gebieten.

### 3.8.3 Konkurrenz mit anderen Blütenbesuchern

Um die Bedeutung der Widderchen im Vergleich zu anderen Blütenbesuchern abschätzen zu können, wurde an Hirschhalde, Ramenstein und Wartberg 2001 zur Zeit hoher Widderchen- und Blütendichte auf einer 25 m<sup>2</sup> großen Probestfläche die Zahl der Blüten, Widderchen und anderen Blütenbesucher als Momentaufnahme bestimmt. Hierbei notierte ich zunächst innerhalb von maximal fünf Minuten die Blütenbesucher und zählte dann anschließend die Blüten.

Am 22.VII.01 wurden dabei am Ramenstein 99 blühende *Origanum*-Triebe, neun *Scabiosa*-Infloreszenzen sowie ein *Echium*-Trieb gezählt. An diesen Blüten fanden sich 21 Individuen von *Z. purpuralis* sowie je eines von *Z. viciae* und *Adscita geryon*. Daneben zählte ich 21 Tagfalter, 31 Hymenopteren (sechs Hummeln), drei Käfer der Gattung *Cryptocephalus* und sieben Dipteren. Insgesamt waren somit außer den 23 Widderchen 62 andere Insekten anzutreffen, so daß die Blutströpfchen etwa 27 % aller Blütenbesucher ausmachten.

Am Westhang des südlichen Wartbergs wurden am 10.VIII.01 auf der Probestfläche 349 Infloreszenzen von *Scabiosa columbaria* als einzige blühende Art gezählt. Darauf fanden sich 24 Widderchen (18 *Z. carniolica*, drei *Z. filipendulae*, zwei *Z. transalpina*, eine *Z. purpuralis*), 28 Hymenopteren (16 Hummeln), acht Dipteren und neun Tagfalter. Von den insgesamt 69 Blütenbesuchern waren 35 % Widderchen.

In der Wacholderheide der Hirschhalde zählte ich ebenfalls am 10.VIII.01 insgesamt 87 Blütenköpfchen von *Scabiosa columbaria* und neun von *Centaurea jacea*. Hierauf befanden sich acht Individuen von *Z. carniolica*, fünf *Z. filipendulae*, ein *Z. purpuralis* und vier *Z. transalpina*. An anderen Blütenbesuchern wurden 23 Hymenopteren (fünf Hummeln), 12 Dipteren und 13 Tagfalter registriert. Den insgesamt 18 Widderchenimagines stehen somit 48 andere Insekten gegenüber, was einem Anteil von 27 % entspricht.

Insgesamt stellten die Widderchen durchschnittlich 30 % aller Blütenbesucher (Abb. 18) und gehörten mit ihren zusätzlich oft vergleichsweise langen mittleren Verweilzeiten zu den wichtigsten Gruppen. Insgesamt sind meist deutlich mehr Infloreszenzen als Besucher beobachtet worden. Dieses Verhältnis wird aber größeren Schwankungen unterworfen sein. Da die Aufnahmestellen nach der größten Widderchendichte ausgewählt wurden, dürfte anderswo in den Gebieten der Widderchenanteil an allen Blütenbesuchern geringer sein.

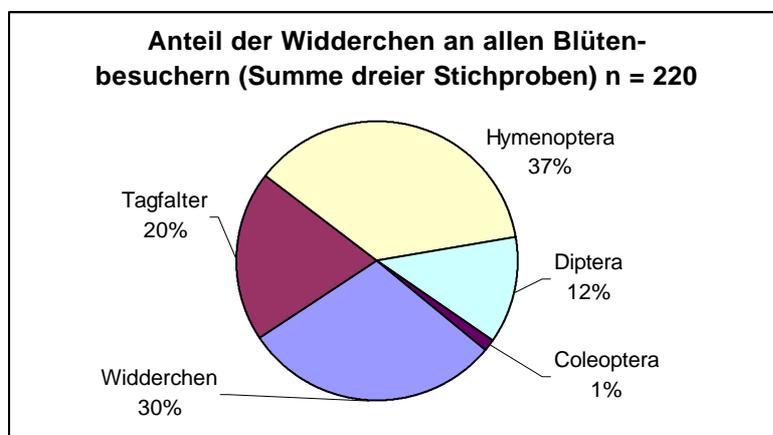


Abb. 18: Ergebnis dreier Stichproben zum Anteil der Widderchen an allen Blütenbesuchern an Wartberg, Hirschhalde und Ramenstein auf Probestflächen von jeweils 25 m<sup>2</sup>.

### 3.9 Weitere Aspekte zur Imaginalökologie

Das Imaginalverhalten war ganz auf eine möglichst schnelle Reproduktion ausgerichtet. Die meisten Verhaltensweisen stehen dann auch im Dienste der Kopulation, der Eiablage oder der Nahrungsaufnahme sowie der Artausbreitung durch Dispersion (siehe 3.10).

*Zygaena*-WW schlüpfen mit zumindest zum Teil bereits fertig entwickelten Eiern (eigene Beobachtungen, HOFMANN 1994). So kann ein Teil der Eier schon am Schlüpftag oder kurz darauf direkt nach der Kopula abgesetzt werden. Beispielsweise wurde am 26.VI.01 morgens ein frisches W von *Z. minos* mit dickem Hinterleib in Kopula an einem Grashalm angetroffen. Spätnachmittags saß dasselbe Tier (Markierung) einige Zentimeter tiefer an einem benachbarten Halm, nun mit schlankerem Abdomen. Bei der Kontrolle der Basis des Halms wurde ein Gelege von etwa 40-50 Eiern (Eihäufen) an der Blattunterseite von *Pimpinella saxifraga* entdeckt. Bei gelegentlich vorkommender dreiwöchiger Lebensspanne sind durch Nachreifung wohl mehr als 300 Eier möglich, wenn auch die Gelegegröße stetig mit der Lebensdauer abnimmt (NAUMANN et al 1999; eigene Beobachtungen).

Dementsprechend muß die Kopula möglichst bald nach dem Schlüpfen der WW einsetzen. Da diese meist morgens schlüpften, beginnt der Kopulationsflug der MM als Patrouillieren im Larvalhabitat – besonders oft beobachtet bei *Z. purpuralis* am Ramenstein – etwa um 9 Uhr MESZ mit den ersten warmen Sonnenstrahlen, so daß viele der beobachteten Kopulae um diese Zeit mit ganz frischen WW eingegangen werden. Teils waren deren Flügel noch nicht einmal getrocknet. Entgangene WW werden dann spätestens bei deren erstem Blütenbesuch entdeckt. Bei der im Untersuchungsgebiet nicht vorkommenden *Z. trifolii* konnte eine Trennung der Partnerfindungsstrategie in einen morgendlichen, optisch orientierten Suchflug der Männchen und ein nachmittagliches Locken der WW mittels Pheromonen nachgewiesen werden (HEINE & NAUMANN 1993), was im Gebiet unter Umständen ebenso bei *Z. purpuralis* und einigen weiteren Arten verwirklicht sein könnte.

Der Suchflug fand aber bei einem Teil der MM auch den ganzen Tag hindurch im Larvalhabitat statt, das durchaus weitgehend blütenlos sein konnte, so bei *Z. loti* am Wartberg und Irpfl beobachtet. Besonders bei *Z. transalpina* schienen die MM besonders bei schwüler Witterung und teils durch Wolken verdeckter Sonne etwa vor einem Gewitter nachmittags konzentriert im Larvalhabitat zu schwärmen. Diese Art war auch an bedeckten Tagen bei ausreichender Temperatur deutlich aktiver als andere.

Mehrfache Kopulae sind die Regel (vgl. HOFMANN 1994). Es konnten bei fast allen Arten selbst stark abgeflogene Tiere bei der Paarung beobachtet werden, die dann meist auf Blüten stattfand. Nachmittags eingegangene Paarungen dauerten oft bis zum nächsten Tag, solche morgens meist nur einige Stunden. Fremdkopulae werden aus der Literatur berichtet (HOFMANN 1994). Im Untersuchungsgebiet wurden eine Kopula *Z. ephialtes*-W x *Z. filipendulae*-M (Moldenberg) sowie eine *Z. loti*-W x *Z. viciae*-M (Hirschhalde) beobachtet. WW solcher an sich sterilen Verbindungen sind im allgemeinen bereits durch arteigene MM befruchtet (HOFMANN 1994).

Die Eier wurden nicht immer auf der Nahrungspflanze abgelegt. Am Ramenstein konnte beispielsweise ein W bei der Eiablage an einem verdorrten Blütenstand von *Bromus erectus* in etwa 30 Zentimeter Höhe beobachtet werden (Juli 2001). Im Reibertal legte ein W von *Z. filipendulae* ein Gelege an die Unterseite eines Blättchens im Blütenstand von *Ori-ganum vulgare*, um danach weiter zu saugen (Juli 2001). An der Hirschhalde hing ein *Z. loti*-W (Juli 1999) unter einem Blättchen von *Medicago falcata* und legte einen Eispiegel ab. Der Sichel-Klee wird von den Raupen nicht angenommen (eigene Beobachtungen).

Wenn die Ablage nicht im Anschluß an eine Kopula oder einen Blütenbesuch zu Fuß erfolgte, wurde sie durch einen typischen Eiablageflug eingeleitet. So pendelte ein W von *Z.*

*loti* am Hohlen Stein (Juli 2000) in auffällig langsamem Schwirrflug in einem Bestand von *Coronilla varia*. Immer wieder kam es bei kurzen Landungen zu einem hektischen Umherlaufen, wobei abwechselnd die Antennen auf die Vegetation gebeugt wurden. Wohl durch die Kronwicke stimuliert, suchte das Tier einen Ablageplatz. Dieser muß nach mehreren Beobachtungen derart beschaffen sein, daß sich die Falter frei unter ein breites Blatt oder ähnliches hängen können (vgl. auch TREMEWAN 1985). Bei der Ablage ohne vorhergehenden Flug scheint dies wohl wegen geringerer Erregung der Tiere nicht notwendig zu sein.

Den meisten Teil des Tages verbrachten die Falter mit der Nektaraufnahme. Häufig brachten sie auch die Nacht auf den Blüten zu und konnten so auch in der Abenddämmerung oder frühmorgens sowie bei Einsetzen schlechter Witterung weiter gelegentlich saugen, sofern die Temperaturen nicht zu sehr absanken. Nur *Z. viciae* und *Z. transalpina* übernachteten seltener auf Blüten, sondern mehr vereinzelt in der Vegetation, etwa an Grashalmen oder letzere Art auch im Gebüsch.

Die für *Z. carniolica* und *Z. purpuralis* bereits beschriebene Tendenz sich abends zu Schlafgemeinschaften zusammenzufinden (HOFMANN 1994) konnte auch bei der selteneren *Z. minos* beobachtet werden (Beobachtungen 2000, jeweils 4-5 Tiere an *Echium*-Trieben). Dies kam dadurch zustande, daß vorbeifliegende Falter (immer MM?) ein sitzendes Tier optisch erkannten und landeten. Allmählich kamen immer mehr Tiere dazu, wobei der Ausgangspunkt oft ein W war. Dies war auch tagsüber zu beobachten, nur waren die Tiere dann in der Sonne derart aktiv, daß sich Aggregationen durch häufig abfliegende Falter gar nicht erst bilden konnten. Abends hingegen war die Bereitschaft zum Auffliegen geringer, weshalb die Ansammlungen entstanden.

### **3.10 Markierungsexperiment im Lindletal**

Insgesamt wurden 2001 im Lindletal 94 Individuen von *Z. minos*, 1500 von *Z. purpuralis*, davon allein 845 am Ramenstein, sowie zusätzlich noch 626 von *Z. filipendulae* markiert.

#### **3.10.1 Populationsdynamik bei *Z. minos* und *Z. purpuralis***

Die Dynamik war bei den untersuchten Widderchenpopulationen sehr hoch. So traf ich drei Tage nach einem Markierungsdurchgang nur mehr ein Viertel bis ein Drittel der Tiere im Biotop an, obwohl die Gesamtzahl durch meist neu geschlüpfte Tiere gleich bleiben oder stark ansteigen konnte. Weiterhin waren die untersuchten Widderchenarten ausgeprägt proterandrisch.

Der Anteil noch nicht markierter Tiere bei einer Begehung sank bei *Z. minos* und *Z. purpuralis* weitgehend linear im Laufe der Flugzeit (Abb. 19a-d). Das heißt, daß zu Beginn fast nur unmarkierte Tiere angetroffen wurden (hohe Schlupfdynamik), während am Ende der Erscheinungszeit die bereits markierten Individuen überwogen (geringe Schlupfdynamik). Gerade dann waren auch mehr Tiere bereits bei der Markierung abgeflogen. Bei *Z. minos* wies ich beispielsweise 2001 an den meisten Fundorten nach dem 5.VII. fast keine frischgeschlüpfte Tiere mehr nach (am „späten“ Stürzlesberg erst ab etwa 9.VII.). Bei *Z. purpuralis* traten am Ramenstein allerdings Mitte August noch einmal frische Falter in etwas verstärktem Ausmaß auf, was auch an anderen Fundorten beobachtet wurde.

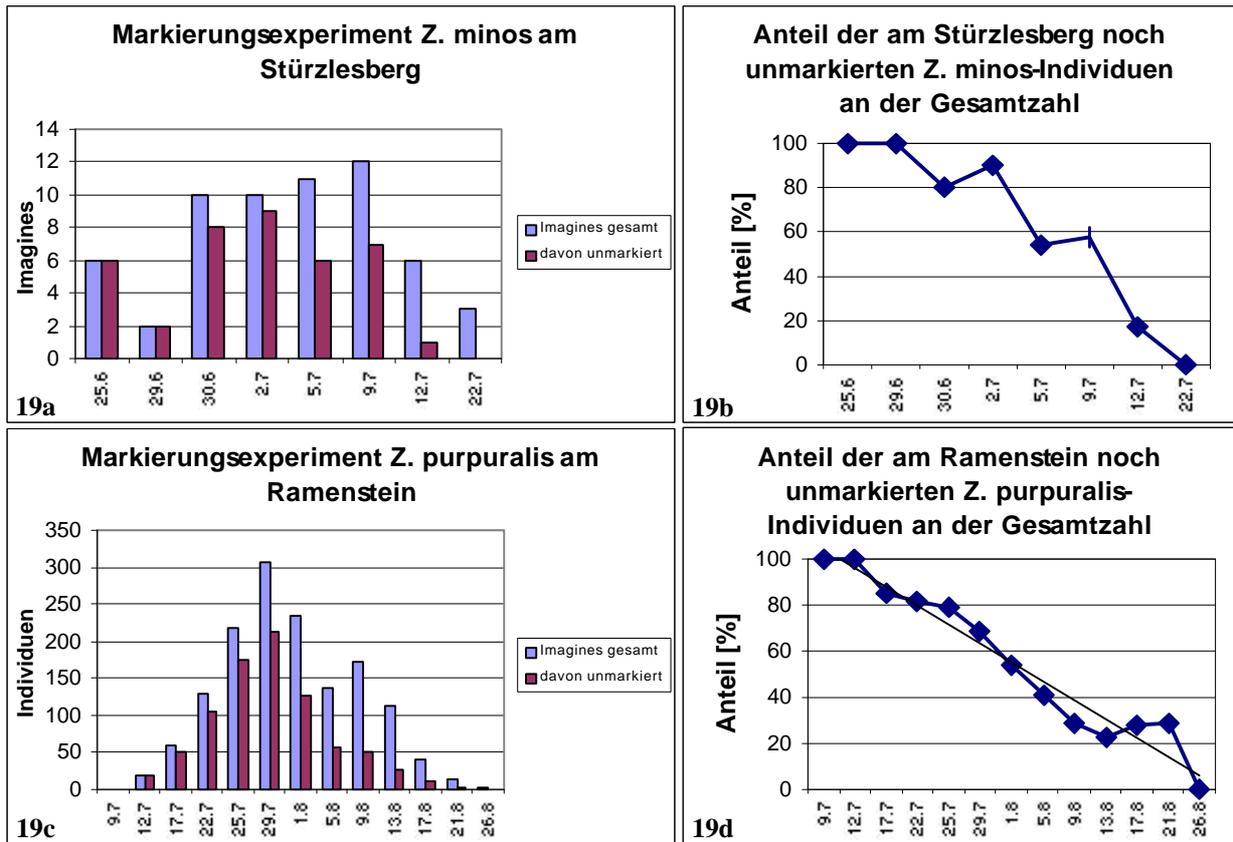


Abb. 19a-d: Anteil der bei der jeweiligen Begehung noch unmarkierten Individuen von *Z. minus* (Stürzlesberg) und *Z. purpuralis* (Ramenstein) an der Gesamtzahl. In Abb. 19d wurde eine Trendlinie (lineare Regression) eingefügt.

Tabelle 15: Markierung von *Z. purpuralis* am Ramenstein 2001. In den Spalten ist der Verlauf der Wiederfangzahlen der an einem Termin markierten Tiere (Fettdruck) dargestellt und in den Zeilen die Zusammensetzung der Population an einem bestimmten Begehungstag aus neu markierten Tieren (Fettdruck) und den an vorherigen Terminen markierten.

Begehung	Begehungsdatum/Markierung											
	12.VII.	17.VII.	22.VII.	25.VII.	29.VII.	1.VIII.	5.VIII.	9.VIII.	12.VIII.	17.VIII.	21.VIII.	26.VIII.
12.VII.	<b>17</b>											
17.VII.	10	<b>45</b>										
22.VII.	6	17	<b>103</b>									
25.VII.	3	8	33	<b>174</b>								
29.VII.	4	7	29	52	<b>215</b>							
1.VIII.	1	1	10	32	52	<b>127</b>						
5.VIII.			4	13	29	36	<b>53</b>					
9.VIII.				19	36	28	21	<b>69</b>				
12.VIII.				7	22	16	16	29	<b>26</b>			
17.VIII.					5	4	6	12	2	<b>11</b>		
21.VIII.							1	5		2	<b>4</b>	
26.VIII.								2			1	<b>1</b>

Am ersten Begehungstermin nach der jeweiligen Markierung wurden am Ramenstein durchschnittlich 30 % der Tiere wiedergefangen (Tabelle 15). Bezieht man die Summe aller Wiederfänge bei allen Terminen, also mit Einschluß der mehrmaligen Fänge des gleichen Individuums, auf die Gesamtzahl aller markierten Tiere, so liegt die Wiederfangquote bei 69 % (Ramenstein) sowie bei 39,5 % (andere Fundorte zusammen). Dabei ist auffällig, daß die Abnahme der Wiederfangzahlen eines Markierungsdurchgangs von der Markierung zur ersten Begehung danach am stärksten war, während sie bei allen weiteren Begehungen zwar kontinuierlich, aber etwas schwächer abnahm.

Etwa die Zeit um den 29.VII. markierte am Ramenstein einen Wendepunkt in der Populationsdynamik von *Z. purpuralis*. Zu dieser Zeit wurden die höchsten Falterzahlen beobachtet (Abb. 19c). Zugleich schlug der Anteil der Geschlechter an Neumarkierungen zugunsten der WW um (Abb. 20b,c). Kurz darauf fand ich erstmals mehr bereits markierte Tiere als noch unmarkierte auf (Abb. 19c,d). Ab hier konnten bei einer Begehung Tiere aus fünf bis sechs Markierungsdurchgängen beobachtet werden, womit das Maximum erreicht war (Tabelle 15).

Die längste Beobachtungszeit lag bei 20 Tagen, wobei es sich um ein M am Ramenstein vom 12.VII. bis zum 1.VIII. handelte. Eine Verweildauer von mindestens 14 Tagen konnte bei 57 Tieren (29 WW) an gleicher Lokalität festgestellt werden (7 % der markierten Tiere). Eine Woche Verweildauer wurde hier bei 160 Faltern (79 WW) bzw. 19 % nachgewiesen. Der Zeitraum, bis zu dem 50 % der ursprünglich markierten Tiere verschwunden waren, lag bei nur zweieinhalb bis drei Tagen, die mittlere Verweildauer eines Individuums wegen der bis 20 Tage dauernden Beobachtungszeit weniger Tiere etwas darüber bei vier Tagen.

Bei *Z. minos* wurden insgesamt 57 % der ursprünglich 94 markierten Tiere wiedergefunden (alle Begehungen inklusive mehrfacher Wiederfunde) bzw. 21 % bei der ersten Begehung nach der jeweiligen Markierung. Die maximal beobachtete Lebensspanne lag bei ebenfalls 20 Tagen (ein M). Mindestens zwei Wochen wurden von etwa 5 % aller markierten Falter erreicht, eine Woche von 17 % (16 Falter, davon sieben WW), was nur gering von den Werten bei *Z. purpuralis* abweicht.

Wie die anderen Widderchen auch (HOFMANN 1994) sind *Z. minos* und *Z. purpuralis* proterandrisch. Zu Anfang der Flugzeit schlüpfen fast nur MM, zu Ende überwogen dann die WW deutlich (Abb. 20a-b). Die Phänologiegipfel waren dabei aber nur um höchstens eine Woche verschoben. Dies ließ sich bei der phänologisch gut synchronisierten *Z. minos* bereits bei den Raupen nachweisen. Ende April bis Anfang Mai ergaben bei einigen versuchsweise für das Kreuzungsexperiment (3.7.5) eingetragenen Raupen bereits größere Tiere meist MM, die phänologisch letzten Tiere gegen Ende Mai dagegen WW.

Besonders deutlich wird die Proterandrie beim Vergleich der relativen Anteile der beiden Geschlechter an der Gesamtzahl der bei einer Begehung markierten Tiere (Abb. 20c). Hier ergibt sich ein lineares Bild. Die beiden Regressionsgeraden schneiden sich dazu in der Mitte der Zeitachse, so daß ein weitgehend symmetrischer Verlauf der Populationsentwicklung im Hinblick auf die Geschlechterverteilung deutlich wird. Reale Abweichungen von der idealisierten Geraden treten besonders im sehr dynamischen ersten Drittel der Flugzeit auf, wo die Zunahme des WW-Anteils nach kurzem Anlauf fast exponentiell ist, so daß das Schlupfgleichgewicht der Geschlechter etwas in der Phänologie nach vorn verlagert wird.

Der Schlupfzeitpunkt liegt bei allen Arten – soweit festgestellt – am frühen Morgen von 7 bis etwa 11 Uhr MESZ. Etliche derartige Beobachtungen liegen vor von *Z. minos*, *Z. purpuralis*, *Z. filipendulae*, *Z. transalpina*, *Z. carniolica*, *Z. viciae* und *Z. loti*. Auch in der Zucht erschienen *Z. minos* und *Z. purpuralis*-Falter ausschließlich um diese Zeit.

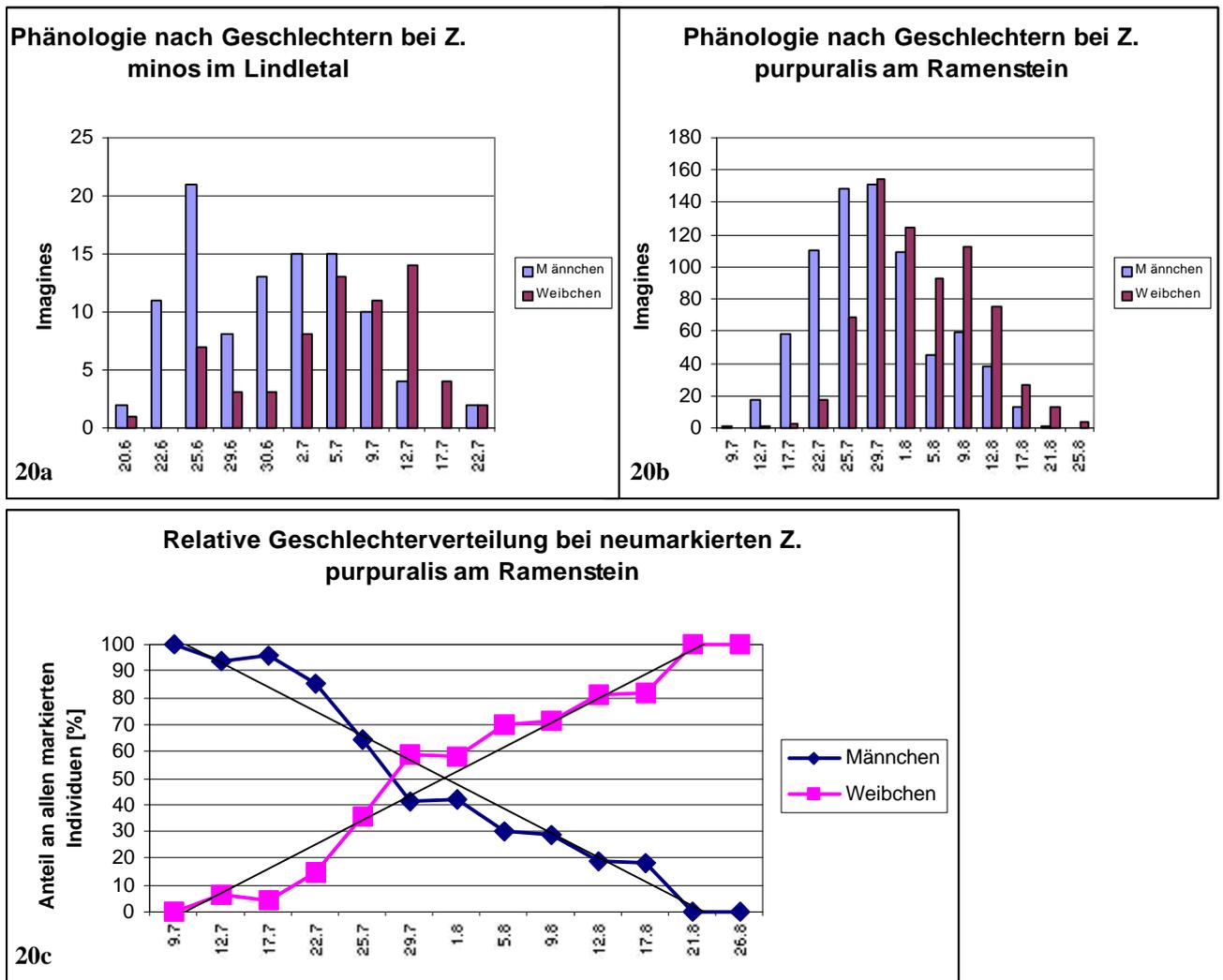


Abb. 20a-c: Festgestellte Phänologie nach Geschlechtern bei *Z. minus* im Lindletal und *Z. purpuralis* am Ramenstein 2001 bei den jeweiligen Begehungen (X-Achse). Bei letzterer ist zusätzlich die Entwicklung des relativen Geschlechteranteils bei Neumarkierungen angegeben (20c). Zusätzlich sind Trendlinien (lineare Regression) eingefügt.

### 3.10.2 Mobilität bei *Z. minus* und *Z. purpuralis*

Zwischen den Teilflächen eines Untersuchungsgebiets stellte ich besonders bei *Z. purpuralis* eine hohe Mobilität mit über 20 % Flächenwechslern fest. Dieser Individuenaustausch sank mit zunehmender Entfernung und Isolation stark ab. Die größten Wanderdistanzen von bis zu 2,5 km wurden nur von wenigen Einzelindividuen erreicht. Die Ausgangszahl der das Habitat verlassenden Tiere kann in Relation zur Todesrate allerdings nicht angegeben werden, so daß auch ein relativ hoher Anteil möglich ist.

Bei *Z. minus* wurden bei den 54 wiedergefangenen Individuen (alle Begehungen) nur sechs Flächenwechsler (11 %) registriert. Drei Tiere (zwei WW) wechselten innerhalb des Ramensteins von einer Teilfläche zur anderen (ca. 200 m Distanz) und drei Individuen (ein W) zwischen Ramenstein (mitte) und dem östlich gelegenen Gebiet Hetzenäcker (Südhang) (ca. 500 m).

Von 841 wiedergefangenen *Z. purpuralis* (alle Begehungen) waren 178 Tiere, davon 80 WW, Flächenwechsler, was einem Anteil von 21 % entspricht. Davon wechselten 144 (69 WW) nur innerhalb des Ramenstein unter den vier Teilflächen und legten dabei maximal etwa 400 m Luftlinie zurück. Fünf (drei WW) wurden am Ramenstein markiert und im Gebiet Hetzenäcker wiedergefunden, während sieben Falter (ein W) den umgekehrten Weg nahmen (maximal 600 m). Auch zwischen Südlicher Bläßhalde und Bläßhalde wechselten vier Tiere (zwei WW) und innerhalb der Südlichen Bläßhalde drei Tiere (ein W). Von letzterem Gebiet flog ein W auch zum Stürzlesberg (600 m). Einige Tiere verteilten sich zudem innerhalb des Reibertals und des Gebiets Hetzenäcker (max. 300-400 m). Ein M flog von der Geißkanzel über die B466 ins mittlere Reibertal (350 m).

Als Fernwechsler sind nur neun Individuen (1 % Anteil an allen im gesamten Lindletal wiedergefangenen Tieren) zu bezeichnen (Tabelle 16), die bis auf ein Tier alle vom Ramenstein stammten. Zwei WW wanderten zur Geißkanzel (800 m), zwei MM ins südliche Reibertal (ca. 1,1 km), ein M zum Stürzlesberg (2 km) und zwei WW sowie ein M zur südlichen Bläßhalde (2,2 km). Ein M stammte vom Gebiet Hetzenäcker und wurde am Westhang der Bläßhalde wiedergefangen (2,5 km).

Von diesen Fernwanderern wurden vier Tiere am 25.VII., drei am 29.VII. und nur je eines am 1.VIII. und 5.VIII. markiert. An den ersten beiden Terminen markierte ich am Ramenstein die meisten Falter überhaupt und bei den jeweiligen nächsten Begehungen waren die stärksten Unterschiede bei den entsprechenden Wiederfangzahlen festzustellen. Meist verging vom Markierungs- bis zum Wiederfangdatum am neuen Fundort etwa eine Woche (Tabelle 16). Dabei waren die wandernden WW ihrem Erhaltungszustand nach sicher noch in der Lage, mindestens einige Dutzend Eier abzulegen. Einige Tiere beiderlei Geschlechts wurden im neuen Gebiet auch in Kopula angetroffen.

Tabelle 16: Fernwanderer ( $\geq 800$  m) bei *Z. purpuralis* im Lindletal 2001 (Distanz in Luftlinie). Die Angaben beim Ramenstein sind genauere Ortsangaben (m = Mitte; wSt. = westlich eines kleinen Steinbruchs; w = ganz im Westen).

Markierungsort	Datum	Wiederfangort	Datum	Distanz [ca. km]
Ramenstein-m	25.VII.	Geißkanzel	1.VIII.	0,8
Ramenstein-wSt.	29.VII.	Geißkanzel	5.VIII.	0,8
Ramenstein-m	25.VII.	Reibertal-s	29.VII.	1,1
Ramenstein-w	1.VIII.	Reibertal-s	9.VIII.	1,1
Ramenstein-m	25.VII.	Stürzlesberg	1.VIII.	2
Ramenstein-wSt.	25.VII.	Südl. Bläßhalde	1.VIII.	2,2
Ramenstein-wSt.	29.VII.	Südl. Bläßhalde	5.VIII.	2,2
Ramenstein-w	5.VIII.	Südl. Bläßhalde	12.VIII.	2,2
Hetzenäcker-E	29.VII.	Bläßhalde	5.VIII.	2,5

### 3.10.3 *Zygaena filipendulae*

Hier wurden von den 626 (228 WW: 36 %) im Lindletal markierten Falter nur 17 % (107 Tiere) wiedergefangen (alle Begehungen), wobei der WW-Anteil mit 30 % nur knapp unter dem der Gesamtzahl aller markierten weiblichen Tiere lag. Der Anteil der Flächenwechsler an den wiedergefangenen Individuen lag bei ca. 13 %, wovon sieben Falter (ein W) bis 400 m und drei (ein W) bis 700 m wanderten.

Als Fernwanderer sind 4 % aller wiedergefangenen Imagines einzustufen. Mindestens 800 m flog ein Falter zwischen Stürzlesberg und Bläßhalde sowie ein weiterer zwischen Ra-

menstein-Mitte und Geißkancel. Zwei Falter (ein W) legten zwischen Reibertal und Südlicher Bläßhalde etwa 1,8 km Luftlinie zurück. Die maximale Beobachtungszeit betrug 16 Tage (ein M im Reibertal) sowie einmal 14 (Reibertal; MM) und viermal 11 Tage (Reibertal, dreimal Hetzenäcker; jeweils MM).

### 3.11 Parasitoide und Feinde

Bei allen Arten außer den zu selten als Larve gefundenen *Z. ephialtes* und *Z. lonicerae* konnten Parasitoide nachgewiesen werden. Die näher halbquantitativ untersuchte Chalcidide *Brachymeria intermedia* spielte beispielsweise eine große Rolle bei der Bestandsregulierung von zumindest *Z. transalpina* und *Z. filipendulae*. Sie trat anscheinend ein bis zwei Jahre nach einer Abundanzsteigerung der Widderchen gehäuft auf und vermochte den Wirtsbestand in den Folgejahren stark zu dezimieren.

Prädatoren waren offensichtlich weniger bedeutend, wenn auch in gut besetzten Widderchenhabitaten eine größere Anzahl von Imagines von netzbauenden Spinnen gefangen werden kann (Farbtafel 5f). Bei Larven beobachtete ich Wanzen und Ameisen als Prädatoren.

Im Gebiet Hetzenäcker war *Z. filipendulae* 2000 sehr häufig. Es wiesen aber bereits mehr als 40 % der ab August beobachteten sehr zahlreichen Kokons das typische, kreisrunde *Brachymeria*-Ausschlupfloch (Farbtafel 4e) auf. Auch Braconiden konnten zahlreich beobachtet werden. Im Folgejahr war die Art dann um über 85 % individuenärmer. Dieser Rückgang dürfte somit auf das Zusammenwirken mehrerer Parasitoide und eventuell einem nicht genau einschätzbaren Witterungseffekt zurückzuführen sein.

Am südlichen Wartberg erreichte *Z. filipendulae* 1999 und auch noch 2000 sehr hohe Abundanzen, *Z. transalpina* besonders 2000. Ab 2000 konnten massiv vermehrt artenreich Parasitoide beobachtet werden, von denen Braconiden besonders an halbausgewachsenen Raupen durch ihre gesellschaftlichen Kokons (Farbtafel 4d) und *Brachymeria* an den Widderchenkokons durch ihr Ausschlupfloch auffielen. 2001 waren dann bereits bedeutend weniger Raupen von *Z. filipendulae* zu sehen, aber noch sehr viele von *Z. transalpina*. Doch die Kokons letzterer Art waren zu geschätzten 70 % von *Brachymeria* parasitiert, so daß im Verhältnis deutlich weniger Falter als im Vorjahr gezählt wurden.

Ähnlich stark war *Z. filipendulae* 2001 am Benzenberg parasitiert, so daß nach den großen Abundanzen 2000 und bereits eingeschränkt im Folgejahr für 2002 eine starke Abnahme prognostiziert werden kann. Aus 30 am 14.VIII.01 probenhalber eingesammelten Kokons schlüpften nur zwei Widderchen, aber 16 *Brachymeria intermedia* (Farbtafel 4f) und zwei Tachiniden. In den restlichen Kokons waren die Puppen abgestorben oder hatten möglicherweise bereits vor dem Einsammeln kleine Parasitoide entlassen.

Als Prädatoren stellten den Imagines besonders netzbauende Spinnen und den Larven selten auch Ameisen und Wanzen (besonders Reduviidae, Nabidae, Pentatomidae: Amyotinae) nach. Besonders erstere erbeuteten bei hoher Widderchendichte auch eine größere Menge an Faltern. In Netzen eingesponnene Falter beobachtete ich besonders bei *Z. purpuralis* und *Z. viciae*, aber auch *Z. transalpina*. Viele Imagines wurden auch durch kleinere Spinnen beim Blütenbesuch an den Beinen durch einige Fäden gefesselt. Sie können so noch einige Tage leben, sind aber für die Reproduktion weitgehend ausgefallen. Krabbenspinnen, die oft Tagfalter erbeuten, konnten hingegen nur sehr selten als Prädatoren registriert werden.

Vertebraten wurden in keinem Fall beim Erbeuten von Widderchen beobachtet, was auf die durch die aposematische Färbung signalisierte Giftigkeit der Tiere zurückzuführen sein dürfte (vgl. RAMMERT 1992). Bei Arthropoden ist dieser Schutz allerdings nur teilweise vorhanden. Um den Einfluß von Ameisen stichprobenartig zu überprüfen, wurden einige

ausgewachsene Larven direkt in Wanderwege von Ameisen der Gattung *Formica* gelegt und das Verhalten beobachtet. Dabei wurden drei Larven von *Z. minos* (Stürzlesberg) und fünf von *Z. purpuralis* (Ramenstein) verschont. Jede ankommende Arbeiterin zwickte die Raupen zwar kurz mit den Mandibeln, war aber durch den Kontakt mit der Raupe derart abgeschreckt, daß sie von dem Tier abließ und ihres Weges ging. Die Raupen krochen nach einiger Zeit ohne erkennbare Schädigung davon. Vier Larven von *Z. viciae* (Mühlhalde) wurden hingegen ohne erkennbare Abschreckung getötet und Richtung Nest getragen. Am Erbisberg beobachtete ich im Mai 2001 weiterhin eine *Formica*-Arbeiterin mit Teilen einer jüngeren Raupe von *Z. filipendulae*.

### 3.12 Morphologische Besonderheiten

#### *Zygaena carniolica*

Bei *Z. carniolica* waren die Raupen sehr variabel was die Grundfärbung und besonders die Ausprägung der schwarzen dorsolateralen Flecken angeht. Die immer wieder zu findende pauschale Behauptung (z.B. HOFMANN 1994), diese schwarzen Flecke seien in Dreiecksform ausgebildet und somit ein gutes Artabgrenzungsmerkmal gegenüber anderen Widderchenraupen, traf nicht für alle Tiere im Untersuchungsgebiet zu. Das Merkmal ist also zumindest für einen Teil der Raupen irreführend und nicht zur Erkennung geeignet. Besonders bei den bodennah an *Lotus* in schütterer Vegetation lebenden Larven waren die schwarzen Flecken zum Teil reduziert und rundlich ausgebildet (Farbtafel 3b). Diese Reduktion ging in nicht wenigen Fällen soweit, daß nur mehr ein schwarzer Doppelpunkt übrig blieb (Farbtafel 3c), wie er für die Art *Z. loti* typisch ist. Dies könnte leicht zu Verwechslungen führen. Bei einiger Erfahrung sind die Tiere aber anhand anderer Eigenheiten (Grundfarbe, Muster) trotzdem zuzuordnen.

Interessanterweise waren die Larven an Esparsette zu einem höheren Anteil „typisch“ mit Dreiecksflecken gezeichnet, während die an *Lotus* in Bodennähe fressenden öfter mit reduzierten Flecken auftreten (Somatolyse?).

Die Imagines waren meist wie die typischen mitteleuropäischen Individuen gezeichnet. Ein Cingulum war oft zumindest in Spuren vorhanden, bei einigen WW auch vollständig. Selten waren Individuen vorzufinden, die durch stark aufgehellte Färbung der Vorderflügel (Farbtafel 4g) an südlich verbreitete Unterarten erinnern (z.B. an ssp. *amasina* aus der Türkei).

#### *Zygaena loti*

Die Raupen dieser Art waren im ausgewachsenen Zustand meist olivgrün in ihrer Grundfarbe (Farbtafel 3d). Daneben kamen auch verdunkelte, grüngraue Tiere regelmäßig vor. Selten fand ich auch goldgelbe Larven (Farbtafel 3e).

*Zygaena loti* weist wie die übrigen Vertreter der *loti*-Gruppe sowohl im Larvalstadium (Grundfarbe der Jung Raupe, Kokonform) als auch im Imaginalstadium (Flecken der Vorderflügel, Patagia, Tegulae u.a.) eindeutig Merkmale des Subgenus *Agrumenia* auf (vgl. NAUMANN 1985; HOFMANN 1994).

#### *Zygaena transalpina hippocrepidis*

Die Raupen der im Untersuchungsgebiet verbreiteten Unterart *hippocrepidis* wiesen typischerweise nur eine schwache oder fehlende schwarze Dorsallinie auf. Bei einigen Tieren war

sie aber auch stark ausgebildet. So entdeckte ich am 20.VII.2000 an der Hirschhalde eine Raupe, die von der Unterart *transalpina* nicht zu unterscheiden war und zunächst nach flüchtigem Hinsehen für *Z. ephialtes* gehalten wurde. Am Irpfl-Westhang konnte eine weitere Larve (Farbtafel 3g) beobachtet werden, die ebenfalls eine deutlichere Rückenlinie aufwies, wenn auch nicht so stark wie das Tier von der Hirschhalde.

### 3.13 Einnischung der Grünzygaene *Adscita geryon*

Das Grünwidderchen *A. geryon* weist zwar wie typisch für die Zygaeniden-Unterfamilie Procridinae eine grüne, von den schwarz-roten Vertretern der Zygaeninae gänzlich abweichende Färbung auf (Farbtafel 6h). Da die Art jedoch abgesehen von der anderen Färbung und einer geringeren Größe ein sehr ähnliches Verhalten wie die „Rotwidderchen“ zeigt und in manchen Flächen des Untersuchungsgebiets größere Abundanzen erreichte, soll ihre Einnischung im Untersuchungsgebiet ergänzend dargestellt werden.

Andere Grünwidderchen traten im Untersuchungsgebiet nicht auf. *Adscita globulariae* ist mir auf der gesamten Ostalb bisher nur von einer einzigen Stelle bei Fleinheim bekannt (hier häufig). Ein Übersehen ist bei dieser im Gegensatz zu manchen schwer zu determinierenden Arten kaum möglich, da sie bereits im Freiland besonders als M leicht von *A. geryon* zu trennen ist.

### Phänologie

Die Art ist zu den mittelspäten Widderchen zu rechnen. Sie erschien in Jahren mit warmem Frühjahr bereits nach Mitte Juni (2000), ansonsten ab Anfang Juli (Abb. 21). Der Höhepunkt wurde Mitte Juli erreicht. Anfang August verschwand die Art sehr rasch. Das phänologisch letzte Tier wurde am 18.VIII.01 am NW-Hang des Kelzbergs gesichtet. In einem Biotop beobachtete ich den Falter meist nur maximal vier Wochen. Der scheinbare Rückgang der Individuenzahlen vom 8.-15.VII.00 ist auf witterungsbedingt geringere Erfassungsintensität zurückzuführen.

Überwinterte Raupen wurden in ausgewachsenem Zustand Ende April bis Anfang Mai gefunden. So entdeckte ich vier Tiere am 29.IV.98 am südlichen Wartberg, eine Raupe am 1.V.98 ebendort, zwei am 2.V.98 am Moldenberg, zwei am 4.V.98 am nördlichen Wartberg und eine am 2.V.01 am Benzenberg. Dabei spinnen sich die vier Tiere vom 29.IV.98 erst ab dem 15. Mai ein, obwohl kein Wachstum mehr zu erkennen war. Vor dem Anfertigen des im Gegensatz zu den Rotwidderchen nur lockeren weißlichen Gespinnsts wurde eine mehrtägige Ruhepause eingelegt. Auch nach der Fertigstellung des Gespinnsts dauerte es trotz warmer Temperaturen weitere 8-10 Tage bis zur Verpuppung.

Abweichend von diesen Funden wurden am 5.IV.99 am Moldenberg bereits zwei völlig ausgewachsene Larven beobachtet, die sich allerdings als parasitiert erwiesen. Außerhalb des Untersuchungsgebiets (Fohbühl bei Bopfingen/Riesrand) fanden sich am 7.VI.01 noch zwei ebenfalls parasitierte Larven, die von den sich in unmittelbarer Nähe verpuppten Parasitoiden bereits verlassen waren, aber noch lebten.

Insgesamt ist somit von einer Erscheinungszeit ausgewachsener Larven von Mitte April bis Ende Mai mit Häufung zum Monatswechsel April/Mai auszugehen, was noch früher ist als bei allen Rotwidderchen. Frühere oder spätere Tiere ruhen (immer?) auf Parasitierung und damit einhergehender Verhaltensänderung bzw. Entwicklungsstörung. Der zeitliche Versatz von Funden ausgewachsener Raupen und den ersten Faltern war mit knapp zwei Monaten doppelt so lang wie bei den Rotwidderchen.

## Nektarpflanzenspektrum

Meistbesuchte Art war ähnlich wie bei vielen Rotwidderchen die Skabiose mit 55 %. Diese Art war an den besiedelten, *Helianthemum*-reichen Stellen (siehe unten) gewöhnlich zahlreich vorhanden. Daneben erwiesen sich noch *Dianthus carthusianorum*, *Knautia arvensis* und *Origanum vulgare* als wichtiger. Besonders zu Beginn der Flugzeit wurde – sofern vorhanden – *Onobrychis viciifolia* bevorzugt. So konzentrierten sich 2000 am Kelzberg Dutzende von Faltern auf wenige Blütentrauben der Esparsette. Weitere besuchte Pflanzen waren Disteln (*Carduus* und *Cirsium*), Natternkopf (*Echium*), Edel-Gamander (*Teucrium chamaedrys*) und selten der gelbe *Leontodon hispidus*. Mit insgesamt 16 Arten wies das Grünwidderchen ein mäßig enges Spektrum auf (SHANNON-WEAVER-Index: 1,5).

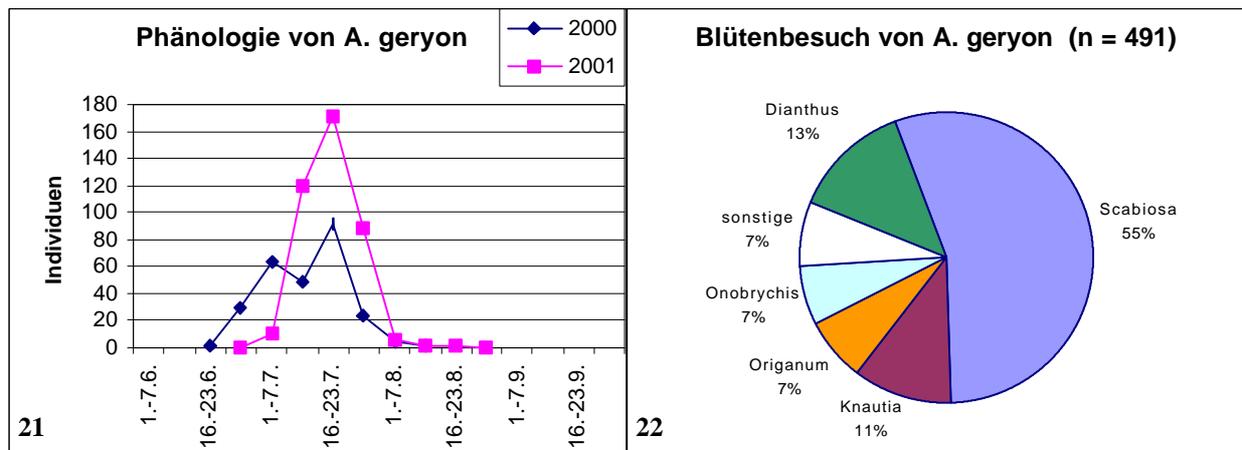


Abb. 21: Phänologie von *A. geryon* 2000-2001.

Abb. 22: Blütenbesuch von *A. geryon* 1998-2001.

## Habitatbindung

Die Art war mit einem signifikanten SPEARMAN-Koeffizienten von 0,9 stark positiv mit dem Vorkommen der Raupennahrungspflanze *Helianthemum nummularium* (Sonnenröschen, Cistaceae) korreliert (Tabelle 17b). Besiedelte Stellen wiesen einen Durchschnittsindex von 3 auf, gänzlich unbesiedelte (n = 20) nur von 1,2. Bei starken Vorkommen lag der Wert sogar bei 3,4 (Tabelle 17a). Sowohl zwischen allen Teilflächen und den stärker besiedelten als auch zwischen letzteren und allen nur schwach bis gar nicht besiedelten waren hochsignifikante Unterschiede gegeben.

Ansonsten sind zwar noch für Exposition, Steilheit, Beweidung und Lückigkeit signifikant positive Korrelationen ersichtlich, signifikante Unterschiede zwischen stark besiedelten und schwach bzw. unbesiedelten Teilflächen sind aber nur noch bei der Exposition nachzuweisen. Dabei wurden jedoch auch Nordwesthänge in größerer Dichte genutzt, so daß hier eine große Spannweite vorliegt. Bei den übrigen, nicht in Tabelle 17a aufgeführten Faktoren, liegt noch eine Tendenz zu stärker beweideten, moosreichen Flächen vor.

Insgesamt war die Verbreitung und die Abundanz im Untersuchungsgebiet eindeutig mit der Raupennahrungspflanze Sonnenröschen korreliert. Diese Pflanze ist als lichtbedürftige Art in nur wenig verfilzten, oft noch beweideten Beständen häufiger als in brachgefallenen und verfilzenden Flächen. Bei ausreichendem Vorkommen der Nahrungspflanze zeigte

A. geryon im Bezug auf die anderen Faktoren eine große Valenz. Das Sonnenröschen wird von keiner Rotwidderchen-Art gefressen.

Tabelle 17a: Vergleich (U-Test) zwischen allen Teilflächen (n = 60) und den stärker von A. geryon besiedelten (n = 21) einerseits sowie andererseits zwischen allen stark und allen nur schwach bzw. gar nicht besiedelten (n = 39). Signifikante p-Werte sind unterstrichen.

	Mittelwert alle Gebiete	Mittelwert stark besiedelte	p-Wert [%]	Mittelwert nicht stark besiedelte	p-Wert [%]
<i>Helianthemum</i>	2,4	3,4	<u>1</u>	1,8	<u>0</u>
Exposition	2,6	3	10	2,3	<u>1,3</u>
steil	2,6	2,7	/	2,5	/
lückig	2,2	2,5	17,8	2,1	5,3
beweidet	2,7	2,9	17,6	2,5	5,7
mager	2,8	2,9	/	2,7	/

Tabelle 17b: Spearman'sche Rangkorrelation zwischen der Besiedlung von A. geryon und verschiedenen Faktoren (alle 60 Teilflächen). Signifikante Korrelationskoeffizienten sind unterstrichen.

n = 60	Korrelation	p-Wert [%]
<i>Helianthemum</i>	<u>0,9</u>	0
Exposition	<u>0,4</u>	0,1
steil	<u>0,3</u>	1,7
lückig	<u>0,4</u>	0,5
beweidet	<u>0,3</u>	2
mager	0,2	5,7

### 3.14 Abschätzung der Genauigkeit der eingesetzten Transektmethode

Bei der Überprüfung der Transektmethode durch normale Zählung und anschließendes Einfangen der Tiere (Tabelle 18) wurde festgestellt, daß in Abhängigkeit von der Widderchenart und der Biotopstruktur mindestens 69 % der durch Einfangen erhaltenen Individuen zuvor bereits gezählt worden waren.

Von *Z. viciae* konnten nach knapp halbstündiger Suche auf der kleinen und übersichtlichen Fläche bei Anhausen 83 % der danach in etwa 50 Minuten eingefangenen 43 Individuen gezählt werden.

Bei *Z. purpuralis* fanden sich an der großen und weniger übersichtlichen Hirschhalde 84 % der später gefangenen 46 Tiere (70 Minuten) bereits bei der direkt vorangegangenen Begehung (40 Minuten), während an der sehr kleinen Rappeshalde zunächst ein Tier mehr gezählt (15 Minuten) als anschließend gefangen (30 Minuten) wurde. Das Wetter war sonnig und die Falter an der Rappeshalde vergleichsweise flugaktiv.

Vom Esparsetten-Widderchen (*Z. carniolica*) hatte ich an der Hirschhalde 91 % der später gefangenen 91 Tiere (80 Minuten) bereits zuvor gezählt (45 Minuten). Das Hufeisenklee-Widderchen (*Z. transalpina*) konnte an der Hirschhalde hingegen nur zu 69 % der danach 34 gefangenen (70 Minuten) Imagines gezählt (40 Minuten) werden. Beim kleinflächigen Vorkommen am Erbisberg wurden während 15 Minuten bei starker Aktivität 22 Tiere gezählt, aber anschließend in 30 Minuten nur 20 gefangen.

Tabelle 18: Ergebnisse der Untersuchung zur Genauigkeit der Transektmethode. Die Werte der nach der normalen Begehung („gezählt“) gefangenen Tiere („gefangen“) sind auf 100 % gesetzt. Bei der Hirschhalde wurde nur die südexponierte Wacholderheide begangen.

Art	Ort	Datum	gezählt	gefangen	Unterschied
<i>Z. viciae</i>	Anhausen	7.VII.00	36 (83 %)	43 (100 %)	7 (17 %)
<i>Z. purpuralis</i>	Hirschhalde	20.VII.00	39 (84 %)	46 (100 %)	7 (16 %)
<i>Z. purpuralis</i>	Rappeshalde	22.VII.00	17 (106 %)	16 (100 %)	1 (6 %)
<i>Z. carniolica</i>	Hirschhalde	3.VIII.00	83 (91 %)	91 (100 %)	8 (9 %)
<i>Z. transalpina</i>	Hirschhalde	9.VIII.00	24 (69 %)	35 (100 %)	11 (31 %)
<i>Z. transalpina</i>	Erbisberg	25.VIII.00	22 (120 %)	20 (100 %)	2 (20 %)

## **4. Diskussion**

### **4.1 Methoden**

#### **4.1.1 Erfassungsmethoden**

Die Transektmethode erwies sich weitgehend als geeignete Vorgehensweise, um die Widderchen im Feld in ihrer relativen Abundanz (Indizes der Populationsgröße) zu erfassen. Bei der Kontrolle der Methode durch nachfolgendes Fangen (siehe 3.14) stellte sich heraus, daß mindestens 69 % der Falter, meist aber mehr, zuvor bereits gezählt wurden. Diesen geringsten Wert erhielt ich bei *Z. transalpina* in einem großen, weniger übersichtlichen Habitat. *Zygæna transalpina* ist eine eher schwer zu erfassende Art, da sie eine starke Flugaktivität zeigt und ansonsten ähnlich *Z. viciae* meist einzeln in der Vegetation ruht. Bei leichter erfassbaren Arten wie *Z. carniolica* lagen die Werte höher. Interessanterweise wurden auch zweimal mehr Tiere gezählt als anschließend gefangen. Dies erfolgte beidesmal in sehr kleinen, überschaubaren Biotopen mit relativ großer Dichte der fraglichen Arten und heißer Witterung. Durch die Flugaktivität, besonders bei *Z. transalpina*, wurden manche Tiere vermutlich doppelt gezählt. Ein weiterer möglicher Faktor kann eine Abwanderung einzelner Tiere zwischen der ersten Zählung und dem anschließenden Fangen sein. Aber auch beim zweiten Durchgang mit vorübergehendem Einfangen der Tiere sind mit großer Wahrscheinlichkeit nicht sämtliche zum fraglichen Zeitpunkt im Habitat vorhandenen Individuen erfaßt worden, etwa wegen versteckter Ruheposition während beider Begehungen.

Weitere Einflüsse auf die erhaltenen Daten sind durch die unterschiedliche Witterung und die Uhrzeit der einzelnen Begehungen zu erwarten. Desgleichen hatte etwa eine kurz zuvor erfolgte Beweidung eine gewisse Abnahme der Individuenzahlen zur Folge, die vielleicht wenige Tage später, also noch in der selben Woche, wieder ausgeglichener gewesen wäre. Auch der absolute Flugzeitbeginn sowie der quantitative Verlauf in einem Gebiet kann durch eine Begehung pro Woche nur ungenau erfaßt werden. Waren beispielsweise zu Beginn einer Woche bei einer Begehung in einem Gebiet noch keine Falter anzutreffen, waren die betreffenden Arten in den Phänogrammen etc. nicht für diese Woche vertreten, selbst wenn die Flugzeit ein bis zwei Tage später noch in der selben Woche begonnen hätte. Solche Unzulänglichkeiten der Methodik wurden wenigstens teilweise dadurch abgemildert, daß ich besonders um den erwarteten Flugzeitbeginn xerotherme Gebiete mit erfahrungsgemäß frühem Erscheinen mehrmals pro Woche aufsuchte, so besonders bei *Z. minus/purpuralis* (Lindletal) und *Z. loti*. Durch die Populationsanalyse bei *Z. minus* und *Z. purpuralis* im Lindletal 2001 wurden zudem genauere Daten zu Populationsstruktur und -dynamik erhalten. Insgesamt ist die angewandte Methode also bei ruhigeren Arten in übersichtlichen Biotopen am zuverlässigsten, während in großen, unübersichtlichen Gebieten, bei warmem Wetter mit

Sonnenschein und bei agilen (*Z. transalpina*) oder versteckteren (*Z. viciae*) Arten stärkere Abweichungen zu erwarten sind.

Genauere Methoden der Abschätzung einer – für die Problemstellung in vorliegender Untersuchung nicht erforderlichen – absoluten Individuenzahl bei offenen Populationen, beispielsweise die JOLLY-SEBER-Methode (JOLLY 1965; SEBER 1965; BEGON 1979; MÜHLENBERG 1993 etc.) oder abgeleitete Verfahren beruhen auf rechnerischer Umwandlung von Werten aus Markierungs-Wiederfang-Ergebnissen in kurzen Zeitabständen von meist einem Tag unter individueller Markierung, sind also bei zahlen- und flächenmäßig umfangreichen Untersuchungsgebieten wie in vorliegender Arbeit von einer Person nicht durchführbar. Ganz davon abgesehen dürften solche Vorgehensweisen mit ihren eigenen Fehlerquellen (SETTELE et al. 1999) besonders bei prinzipiell leicht zu erfassenden Gruppen wie den Rotwiddern ebenfalls nur äußerst ungenaue Daten liefern. So wechselt beispielsweise die Nachweisbarkeit der Tiere methodisch, witterungsbedingt und zufallsabhängig mitunter sehr stark, wie Beispiele einer zweimaligen Begehung pro Tag im selben Habitat besonders bei *Z. minos* zeigten. Diese Änderungen in der Nachweisbarkeit hätten bei Populationsschätzungen nach JOLLY-SEBER ebenfalls größere Fehler zur Folge. Außerdem kommt es nach dieser Methode leicht zu einer Überschätzung der tatsächlich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Habitat nachweisbaren Anzahl von Tieren. So wurden bei einer Untersuchung von KREUSEL & BÖHMER (1998) auf einer nur höchstens 3,2 ha großen, scharf begrenzten Fläche, etwa vergleichbar mit Ramenstein oder Erbisberg, bei *Z. filipendulae* maximal etwa 50 Individuen ähnlich der eigenen Abundanzüberprüfung gefangen, aber als Tagespopulation bis zu 275 geschätzt. Eine mehr als die fünffache Anzahl ist bei leicht zu beobachtenden, bodennah lebenden, aber sich nicht in der Moos- oder Streuschicht versteckenden Tieren wie Rotwiddern-Imagines ziemlich unwahrscheinlich, zumal in übersichtlichen Habitaten. Vertretbar wäre zumindest bei ausreichender Suchintensität wohl maximal eine Differenz um den Faktor zwei bis drei. KÖNIGSDORFFER (1996) berechnete bei einer Untersuchung zu *Chazara briseis* (Nymphalidae) am württembergischen Riesrand (Bopfingen) in einem ähnlich kleinen, übersichtlichen Gebiet (Kapf) aus 14 gezählten Tieren für denselben Tag 77 vorhandene Falter, was dem Faktor 5,5 entspricht. Besonders weil *C. briseis* als große, auffällige und bodennah orientierte Art leicht nachweisbar ist, dürfte eine solche Schätzung ebenfalls deutlich zu hoch gegriffen sein. Zudem erfolgte bei seiner Untersuchung nur eine Begehung pro Woche, was die Bedingungen der verwendeten JOLLY-Methode aufgrund zu erwartender niedriger Wiederfangrate nicht erfüllt. Bei verhaltensbedingt schlechter nachweisbaren Arten wie manchen Tagfaltern kann die Methode bei allerdings großem Aufwand bessere Daten als eine hier zwangsläufig viel zu niedrige Beobachtungsrate liefern, doch bieten sich hier für Abundanzvergleiche leichter nachweisbare Stadien an (HERMANN 1998).

Beim Geschwisterartenkomplex *Z. minos/purpuralis* kann nicht völlig ausgeschlossen werden, daß sich sehr selten unter der häufigen *Z. purpuralis* auch einzelne nicht genitalüberprüfte *Z. minos* verbergen. Um dies zu verhindern, hätten wesentlich mehr Tiere präpariert werden müssen, was vor allem aus Schutzgründen nicht vertretbar gewesen wäre. Aufgrund von zahlreichen Raupenfunden beider Taxa sowie gut 90 Genitalpräparaten und einigen weiteren durch Eiablage determinierten Faltern kann aber die in vorliegender Arbeit ausgeführte relative phänologische Trennung der beiden nahe verwandten Arten im Untersuchungsgebiet als gesichert betrachtet werden. Bei den Genitaluntersuchungen wurde zudem zumindest in den Jahren 2000 und 2001 eine vorher aufgrund des Erhaltungszustandes, des Fangdatums und der Kenntnis des jeweiligen Untersuchungsgebiets durchgeführte vorläufige Zuordnung zu *Z. minos* und *Z. purpuralis* in jedem (!) Fall bestätigt.

Die Larvalphänogramme sind stark von der Auffindbarkeit der Tiere bestimmt. Von erwachsen offen in der Vegetation ruhenden Arten, besonders solchen mit wespenartiger

Warnfarbe (*Z. filipendulae*, *Z. transalpina*) wurden erheblich mehr Raupen beobachtet als von versteckt und bodennah in der Mooschicht lebenden wie bei *Z. loti* und *Z. minos*. Die Maxima wurden erst bei erwachsenen Raupen erreicht, obwohl die Zahl junger Raupen deutlich größer sein dürfte. Ähnlich verhält es sich mit dem Aktivitätsbeginn im Frühjahr. Erst einige Zeit nach der Häutung aus der Diapause fand ich die ersten Larven.

Die Vergabe von wöchentlichen Blütenindizes für die einzelnen Gebiete weist einige methodische Schwächen auf. So können innerhalb einer Woche größere Schwankungen auftreten, die teils von Schafbeweidung hervorgerufen werden oder wetterbedingt sind. Selbst an einem Tag ist beispielsweise bei sehr heißer, trockener Witterung ein Unterschied zwischen Vor- und Nachmittag zu beobachten. Weiter ist die an sich bereits subjektive Einteilung in eine vierstufige Skala besonders bei häufigem Vorkommen zu grob. Auch extrem hohe *Scabiosa*-Dichten konnten nur unter der Kategorie „vier“ eingeordnet werden. Andererseits hätte eine Skala mit mehr Stufen die Subjektivität noch weiter erhöht und die Erhebung erschwert. Besonders am Wartberg waren aber im August oft um ein Vielfaches mehr an *Scabiosa*-Blüten anzutreffen als beispielsweise Ende Juli. Trotzdem erhielt die Art beidesmal den Wert vier. Im August drückten dann abnehmende Indizes anderer Arten den Summenwert, obwohl wegen *Scabiosa* insgesamt nicht weniger Blüten zur Verfügung standen.

#### 4.1.2 Zuchtmethoden

Die Zuchtmethoden entsprachen nicht den exakten Freilandbedingungen und sind deshalb nur eingeschränkt auf Freilandverhältnisse übertragbar. Die Zucht im Zimmer bis zur Diapause läßt beispielsweise den natürlichen Temperaturgang im Gelände mit heißem Mikroklima tags und stärkerer nächtlicher Abkühlung außer Acht. Dazu entsprach zwar die Tageslänge derjenigen in der Natur, nicht aber das Spektrum wegen der trennenden Glasschichten und mangelnder direkter Sonneneinstrahlung. Auch war beispielsweise das gar nicht wichtig genug einzuschätzende wärmere Mikroklima im Frühjahr bereits ab Februar an Südhängen nicht zu simulieren. Völlig übertragbare Ergebnisse könnten nur durch eine Zucht im Freiland im Biotop etwa in mit Gaze überspannten und teils in den Boden eingegrabenen Käfigen erzielt werden. Hier wären dann aber die Häutungsstadien wieder kaum zu verfolgen. Weiter wäre nur schwer eine Kontrolle von Prädatoren und Parasitoiden sowie dem sicher zu erwartenden Vandalismus möglich.

Teils ist die Zahl der gezüchteten Tiere auch zu gering, um verlässliche Zahlen zu erhalten. Hierzu hätten die Nachkommen von mindestens einem Dutzend WW von verschiedenen Fundorten gezüchtet werden müssen. Davon mußte aus Schutz- und Zeitgründen abgesehen werden.

Aufgrund der zumindest teilweise freilandähnlichen Zucht und des zum Teil genetisch fixierten Überwinterungsverhaltens der Rotwidderchen (WIPKING 2000; NAUMANN et al. 1999) können aber trotzdem zumindest Hinweise auf die Verhältnisse im Freiland gewonnen werden. Durch die intensive Raupensuche im Freiland insbesondere im Frühjahr und teils im Herbst fand auch eine Überprüfung der durch Zucht erhaltenen Ergebnisse statt. In der Kombination von Zucht und beobachteter Freiland-Larvalphänologie sind somit fundierte Aussagen möglich, die zumindest einen Teil der Phänomene um Entstehung und Ursache der Imagnalphenologie erklären können.

### 4.1.3 Markierungsexperiment im Lindletal

Bei den Untersuchungen zur Populationsdynamik von *Z. minos* und *Z. purpuralis* wäre es wünschenswert gewesen, die fraglichen Untersuchungsgebiete täglich zu begehen. Dies war aber aus Zeitgründen nicht möglich. Darüber hinaus waren witterungsbedingt meist nicht alle Tage einer Woche für imaginalbiologische Untersuchungen geeignet, wenn auch die Erfassung der Widderchen etwas weniger witterungsabhängig ist als etwa bei Tagfaltern.

Eine individuelle Markierung hätte eine bessere Verfolgung von Flächenwechslern ermöglicht. Im Allgemeinen konnte aber bei den wenigen Flächenwechslern bereits aus der Kombination aus Markierungsdatum und -ort sowie beim ersten Wechsel notierten individuenspezifischen Merkmalen festgestellt werden, daß es sich jeweils um verschiedene Individuen handelte. Bei einer individuellen Markierung hätten allein am Ramenstein bei einer Begehung mehrere hundert *Z. purpuralis* individuenspezifisch markiert werden müssen. Somit kann die durchgeführte orts- und datumsspezifische Markierung bei mindestens zweimal pro Woche erfolgender Begehung als guter Kompromiß betrachtet werden, um die angestrebten Ziele zu erreichen, nämlich einen besseren Einblick in die die Phänologie bestimmende Populationsdynamik und zu erwartende Mobilität zu erhalten.

Dem Begehungszeitpunkt kommt ebenfalls eine Bedeutung zu. Nachdem die Widderchen im Feld wie auch unter Zuchtbedingungen beobachtet morgens zwischen acht und elf Uhr MESZ schlüpften, waren bei Begehungen vormittags noch nicht alle an diesem Tag zu erwartenden Tiere vorhanden. Bis zum nächsten Erhebungszeitpunkt waren sie bei den kurzen Verweilzeiten im Biotop zum größeren Teil bereits wieder verschwunden. Dieser und weitere Faktoren führen zu einer Unterschätzung der tatsächlich an einem Tag vorhandenen Individuen um vermutlich den Faktor zwei (vgl. 4.1.1).

Ein ähnliches Problem soll noch erwähnt werden, das sich auf alle Begehungen ausgewirkt haben dürfte. Bei *Z. minos* führte ich in einigen Gebieten beim Markierungsexperiment gelegentlich eine zweimalige Begehung an einem Tag durch, die zu teils recht unterschiedlichen Individuenzahlen führte. Bei individuenreicheren Vorkommen anderer Arten waren keine so großen Unterschiede feststellbar. Somit sind besonders bei sehr individuen-schwachen Populationen die erhaltenen Werte in gewissem Grad zufallsbedingt. Auch bei anderen systematischen Gruppen wie den Tagfaltern ist eine Erfassung schwacher Populationen nur zufällig möglich und hängt von der im Biotop verbrachten Zeit und der Suchintensität ab.

### 4.1.4 Gebietsanalyse

Die Vergabe der Indizes für die einzelnen Faktoren erfolgte so objektiv wie möglich. Trotzdem ergaben sich Schwierigkeiten besonders in sehr abwechslungsreich gestalteten Teilgebieten, wo der vergebene Wert dann nur den Durchschnitt darstellt. Somit sind hier die ökologischen Ansprüche der Arten, die nur einen Teil der eng verzahnten Pflanzengesellschaften und damit auch des abiotischen Spektrums (Exposition, Gesteinsanteil etc.) nutzen, für dieses Gebiet nicht deutlich erkennbar. Mildernd wirkt sich hierbei die Unterteilung in starke und individuenarme Populationen aus.

Weiterhin ist es möglich, daß eine Art prinzipiell mehrere verschiedene Lebensräume besiedeln kann, ein Typ aber im Untersuchungsgebiet zufällig am weitaus häufigsten auftritt. So kommt *Z. transalpina* mit *Hippocrepis comosa* einerseits an mergeligen, im Frühjahr wechselfeuchten, aber doch warmen, süd- bis westexponierten und wenig beweideten Wacholderheiden vor und andererseits an Felshängen. Erstere sind im Gebiet überrepräsentiert (Kunigundenbühl, Wartberg, Erbisberg), während Felshänge nur am Irpfl-Südhang von star-

ken Populationen besiedelt wurden. Neben diesem möglichen zufälligen Vorherrschen eines Biotoptyps werden als weitere Folge von Schwerpunkten in verschiedenen Lebensraumtypen die Gesamtindizes beispielsweise des Gesteinsanteils für die Art mittlere Werte annehmen. Solche Probleme können durch Beachtung der Werte der einzelnen Indizes und teilweise intensiv durchgeführte Beobachtungen in Habitaten außerhalb der Untersuchungsgebiete minimiert werden.

Bei der statistischen Auswertung ist zu beachten, daß gerade für die selteneren Arten wie *Z. ephialtes*, *Z. minus* und *Z. lonicerae* die von stärkeren Populationen besiedelten Teilgebiete mit  $n = 6-8$  sehr gering sind. Somit sind nur bei sehr großen Unterschieden zu allen Gebieten bzw. den wenig oder nicht besiedelten signifikante Abweichungen zu erwarten. Kleinere Unterschiede, die durchaus real gegeben sein können, werden somit nicht erfaßt. Umgekehrt sind aber auch zufällige Korrelationen aufgrund der Verteilung der Untersuchungsgebiete möglich. So liegen die von *Z. minus* und *Z. purpuralis* stark besiedelten Flächen im Lindletal alle in Waldnähe, so daß insgesamt ein größerer Unterschied zum Mittel aller Gebiete gegeben ist. Tatsächlich werden aber auch waldferne Biotope gut besiedelt, nur im Untersuchungsgebiet seltener als im Durchschnitt. Dies kann aber mit weiteren Faktoren zusammenhängen, so daß dem Faktor Wald real nur eine untergeordnete Bedeutung zukommen könnte.

Bei kleiner Stichprobenanzahl  $n$  spielt die Spannweite sowie die Streuung der besiedelten Lebensräume in Bezug auf den jeweiligen Faktor schon bei nur wenigen „abweichenden“ Biotopen eine große Rolle, so daß keine Signifikanz mehr vorliegt. Bei kleiner Anzahl überhaupt bzw. stark besiedelter Flächen (z.B. *Z. minus*, *Z. transalpina*) zeigt ein signifikanter Korrelationskoeffizient somit einen starken Zusammenhang der Verbreitung und teils Abundanz der Art mit dem jeweiligen Faktor an, während bei sehr großer Anzahl besiedelter Flächen (*Z. filipendulae*, *Z. purpuralis*) in einem solchen Fall mehr nur ein Zusammenhang mit der Abundanz vorliegt. Letzteres deutet dann auf eine mögliche größere Valenz der Art bezüglich des Faktors hin. Somit erfolgt die Besiedelung fast nach dem Angebot. Vorhandene Unterschiede im Vergleich der nicht stark mit den individuenreich besiedelten Flächen geben in diesem Fall Hinweise darauf, mit welchen Faktoren die Abundanz negativ korreliert ist.

Da insgesamt immerhin 60 Teilflächen untersucht wurden, sind doch zumindest teilweise aussagekräftige Ergebnisse möglich. Infolge der beschriebenen, kaum vermeidbaren „Vermittlung“ der Gesamtindizes durch heterogene Teilflächen sind Abweichungen der besiedelten von unbesiedelten Teilflächen tatsächlich meist real noch stärker gegeben. Dabei bezeichnet der Terminus „real“ die Verhältnisse der Grundgesamtheit aller 31 Gesamt- oder 60 Teilgebiete. Diese „Grundgesamtheit“ der vorliegenden Untersuchung ist allerdings zwangsausführig nur ein Auszug aller Lebensräume in Mitteleuropa, besonders der Schwäbischen Alb, die die wahre Grundgesamtheit bilden würden. Dies sollte immer im Auge behalten werden und hat beispielsweise auch Auswirkungen auf Arten, die im Untersuchungsgebiet überhaupt keine Optimalhabitate vorfinden, wie dies wohl auf *Z. lonicerae* zutrifft. Hier kann in vorliegender Arbeit dann nur eine im Untersuchungsgebiet beobachtete Tendenz angegeben werden.

## 4.2 Einnischungsphänomene

### 4.2.1 Phänologie

Die Phänologie stellt eine erste Einnischungsstufe dar. Danach sind im Untersuchungsgebiet frühe, mittelspäte und späte Arten zu unterscheiden. In Jahren mit warmem Frühjahr (1998,

2000) war die Überschneidung zwischen den Gruppen deutlich geringer (Abb. 23) als in Jahren mit kühlerem Frühling (besonders 2001). Im jeweiligen Habitat waren die Arten meist besser getrennt als in den Summenphänogrammen aller Gebiete ersichtlich wird.

Als früheste Art flog *Z. minos* in Jahren mit warmem Frühjahr etwa vom 10. Juni bis 10. Juli (2000) mit kurzer Gesamtdauer. An sehr xerothermen Stellen erschien sie noch früher. Im Gebiet Steinenfeld (Gerstetten) etwa dürfte sie 2000 bereits an den ersten Junitagen geflogen sein. Nach kühlerem Frühjahr (April 2001) begann die Flugzeit erst etwa 10 Tage später und dauerte länger. Hiermit korrelierend waren die Larven bereits im Mai verpuppungsreif und nur kurze Zeit ausgewachsen nachweisbar. Im am wenigsten xerothermen Gebiet mit der folglich spätesten Flugzeit (Stürzlesberg) fand ich auch die letzten Raupen. In Jahren mit sehr kaltem Frühjahr ist eine noch stärkere Verzögerung des Flugzeitbeginns auf etwa den 25. Juni denkbar.

Fast ebenso früh, an den meisten Fundorten aber einige Tage nach *Z. minos*, erschien *Z. loti*. Diese Art wies eine längere Gesamtflugzeit von mindestens sieben Wochen auf. Frische Nachzügler fanden sich im Gebiet noch Mitte August. Solche Tiere sind von der mittleren Schwäbischen Alb auch noch später bekannt, so am 11.IX.00 ein Tier bei Herrlingen (Ulm; Mitteilung M. MEIER). Mit der Flugzeit korrelierend, waren die Raupen etwa von Mai bis Mitte Juni erwachsen zu finden. Für andere Regionen Mitteleuropas wird bei *Z. loti* übereinstimmend von einer je nach Lokalität variierenden, insgesamt aber sehr langen Flugzeit von Mai bis September mit teils zwei Maxima berichtet (AISTLEITNER 1998, HOFMANN 1994, SBN 1997). In föhnigen Tälern der Alpen fliegt die Art selbst in einer Höhe von 1000 m NN früher als im Untersuchungsgebiet. So war sie am 12.VI.01 im vorarlberger Montafon bei Partenen bereits häufig (eigene Beobachtung).

*Zygaena viciae* flog mittelspät, je nach Wärme des Frühjahrs von Ende Juni bis Anfang Juli. Die Hauptflugzeit lag im Juli. Bei starkem Vorkommen sind aber auch in manchen Biotopen (Geißkancel) bis Ende August vereinzelte Nachweise möglich, so daß die Gesamtflugzeit bis sieben Wochen betragen kann. Meist war sie aber deutlich kürzer und von den letzten Junitagen bis zu den ersten Augusttagen auf fünf Wochen konzentriert. Auch in anderen Teilen Mitteleuropas ist eine eher kurze Flugzeit je nach Höhenlage im Juni und Juli festzustellen (HOFMANN 1994, AISTLEITNER 1990, 1998).

Erst nachdem *Z. loti* und *Z. minos* etwa drei Wochen geflogen waren, erschienen weitere mittelspäte Arten. In Jahren mit warmem Frühjahr (2000) und an niedrig gelegenen Fundorten (Lonetal-Flächenalb) wurden erste *Z. purpuralis*-MM bereits an den letzten Junitagen angetroffen. In kühleren Jahren (2001) waren sie bis Anfang Juli verschoben, an höher gelegenen Fundorten teils bis Mitte Juli (Stürzlesberg).

Bisher war eine zeitliche Trennung im Vergleich zur Schwesterart *Z. purpuralis* umstritten. Nach den Ergebnissen der Larvalphänologie und der auf genauen Beobachtungen und zahlreichen Genitaluntersuchungen beruhenden Imaginalphänologie kann von einer relativen Trennung der beiden Arten auf der Ostalb sicher ausgegangen werden. Nur meist abgeflogene und bereits verpaarte *Z. minos* treffen während maximal 10 Tagen, meist kürzer, im Biotop auf erste, frische *Z. purpuralis*. So ist auch eine ziemlich sichere, vorläufige Determination der Tiere im Untersuchungsgebiet im Freiland möglich. Bis etwa 25. Juni fliegende Falter sind *Z. minos* zuzuordnen und ab 25. Juli fliegende *Z. purpuralis*. Bei Berücksichtigung der Frühjahrswitterung und des Erhaltungszustands läßt sich die Lücke dazwischen besonders bei kontinuierlicher Beobachtung eines Biotopes deutlich weiter verringern. Mögliche Ausnahmen wurden bisher nicht registriert, sind also im Untersuchungsgebiet eher unwahrscheinlich. In angrenzenden Teilen der Schwäbischen und Fränkischen Alb dürfte eine ähnliche relative Trennung verwirklicht sein. So fand ich 1999 bereits in der ersten Maihälfte in der südlichen Fränkischen Alb prall erwachsene *Z. minos*-Raupen. Inwieweit aber ein kühleres Klima etwa

in höheren Lagen der mittleren Schwäbischen Alb den Überschneidungszeitraum vergrößert, müßte dort an syntopen Populationen untersucht werden.

Von anderen Gebieten Mitteleuropas liegen uneinheitliche Aussagen vor. So sind nach TARMANN (1975) in Tirol von *Z. minos* nur (wenige) Funde im Juni bekannt, während *Z. purpuralis* besonders im Juli fliegen soll mit allerdings etlichen Nachweisen im Juni und August. Nach AISTLEITNER (1998) sind die beiden Arten in Vorarlberg ähnlich dem Untersuchungsgebiet deutlich getrennt, während nach HOFMANN (1994) dies für Teile Baden-Württembergs so nicht zutreffen soll. Hier seien die frühesten Nachweise meist *Z. purpuralis* zuzuordnen. Für solche Gebiete, etwa auf der Westalb, im Neckar-Tauberland oder im Kaiserstuhl, sollten bevorzugt an Orten mit syntopem Vorkommen Freiland-Untersuchungen zur Phänologie der Larven und Imagines durchgeführt werden, sofern diese wegen des Rückgangs vor allem von *Z. minos* noch möglich sind. Dabei sollten auch Korrelationen mit der Blühphänologie und anderen Faktoren versucht werden.

*Zygaena lonicerae* und *Z. ephialtes* waren als ebenfalls mittelspäte Arten ganz auf den Juli bis zur ersten Augustwoche konzentriert. Erstere kann bereits Ende Juni erscheinen. Auch in anderen Gebieten ist besonders die Flugzeit von *Z. ephialtes* auffallend komprimiert (HOFMANN 1994).

Meist erst ab Mitte Juli erschienen die drei späten Arten *Z. carniolica*, *Z. transalpina* und *Z. filipendulae*. Erstere wies dabei die am meisten komprimierte Flugzeit von maximal vier bis fünf Wochen in einem Habitat auf, was auch an einem sehr schnellen Individuenaufbau bis zum Maximum ersichtlich ist. Die Raupen waren im ausgewachsenen Zustand nur maximal fünf Wochen lang anzutreffen. Letztere beide Arten erreichten langsamer ein relativ flacher verlaufendes Maximum und waren bis September über neun und mehr Wochen hinweg nachweisbar. Entsprechend streuten die Nachweise erwachsener Raupen.

*Z. carniolica* fliegt auch anderswo in Mitteleuropa vor allem im Juli und August mit recht kurzer Flugzeit an einem Fundort. Nur in besonders warmen Gebieten, wie dem Kaiserstuhl, liegt die Flugzeit bereits im Juni (HOFMANN 1994).

Bei *Z. transalpina* muß zwischen hippocrepidoiden (Untersuchungsgebiet) und transalpinoiden Populationen unterschieden werden. Erstere weisen allgemein eine eher späte, wenn auch ausgedehnte Flugzeit (Tauberland, Alb) auf, während letztere teils früher und variabler in Erscheinung treten. So fliegen transalpinoide Populationen etwa am Oberrhein im Juni (HOFMANN 1994) und im Schwarzwald und in tiefen Lagen des Alpennordrandes Ende Juni bis Anfang August.

Bei *Z. filipendulae* wird in allen Arbeiten übereinstimmend von einer „eigenartigen Phänologie“ berichtet (beispielsweise HOFMANN 1994; AISTLEITNER 1990, 1998). So weist sie in vielen Gebieten eine über viermonatige Phänologie mit unterschiedlichen, teils mehreren Maxima auf. In Vorarlberg hat sie ein Maximum im Juni, am bayerischen Alpenrand im Juni und Juli (eigene Beobachtungen) und am Oberrhein mehrere Gipfel von Juni bis September. HOFMANN (1994) nennt dafür einige zu überprüfende Hypothesen, nämlich unter anderem die Möglichkeit der Existenz mehrerer Stämme unterschiedlicher Phänologie oder mehrerer Generationen. Andere Autoren (AISTLEITNER 1990, 1998) gehen zudem von einer möglichen Anpassung etwa an unterschiedliche Mährhythmen auf Wiesen aus.

Eigene Beobachtungen zur Larvalphänologie früh fliegender Populationen außerhalb des Untersuchungsgebiets liegen unter anderem von einer mageren, einschürigen Wiese im bayerischen Alpenvorland westlich des Ammersees (Ludenhofen) vor. Hier war die Art im Juni 2001 häufig (Mitteilung H. BELLMANN). Am 31.III.02 konnten in der Moossschicht um gerade austreibende *Lotus corniculatus*-Pflanzen vier Raupen gefunden werden, von denen zwei um einen Zentimeter lang (vorletztes Stadium!) und gelb-schwarz waren. Die anderen

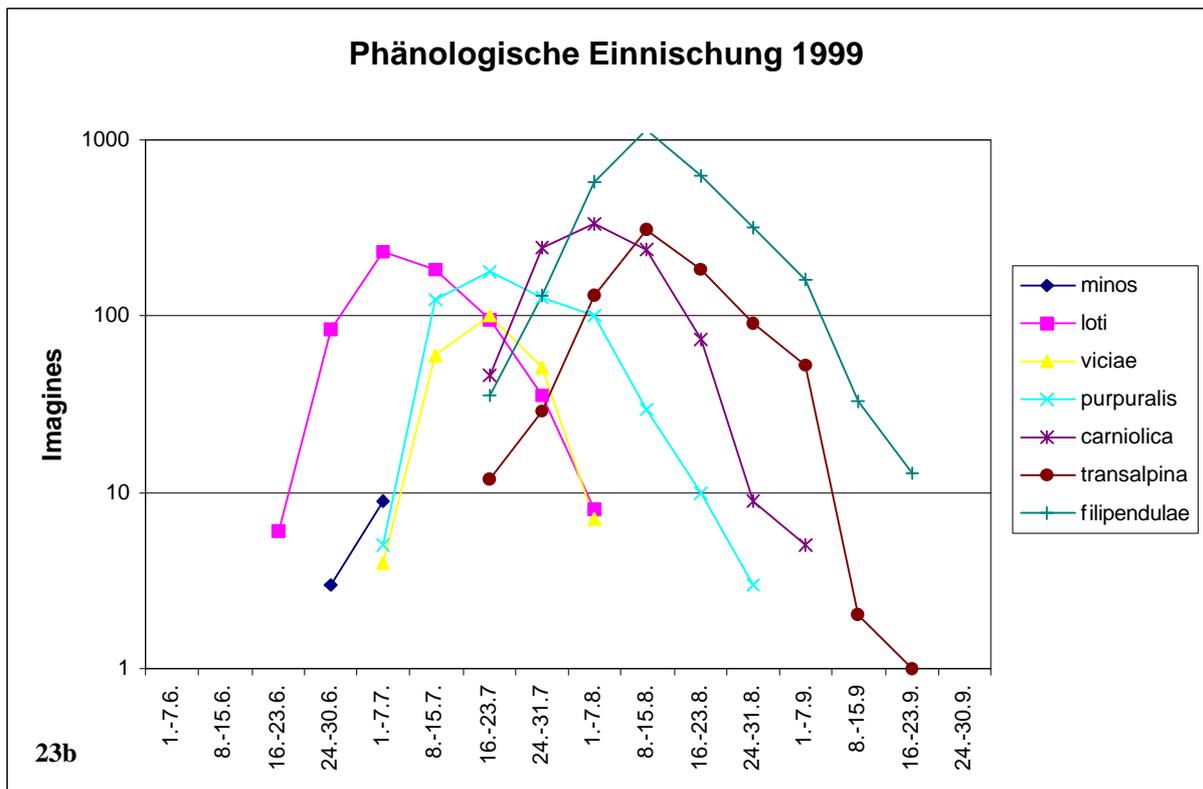
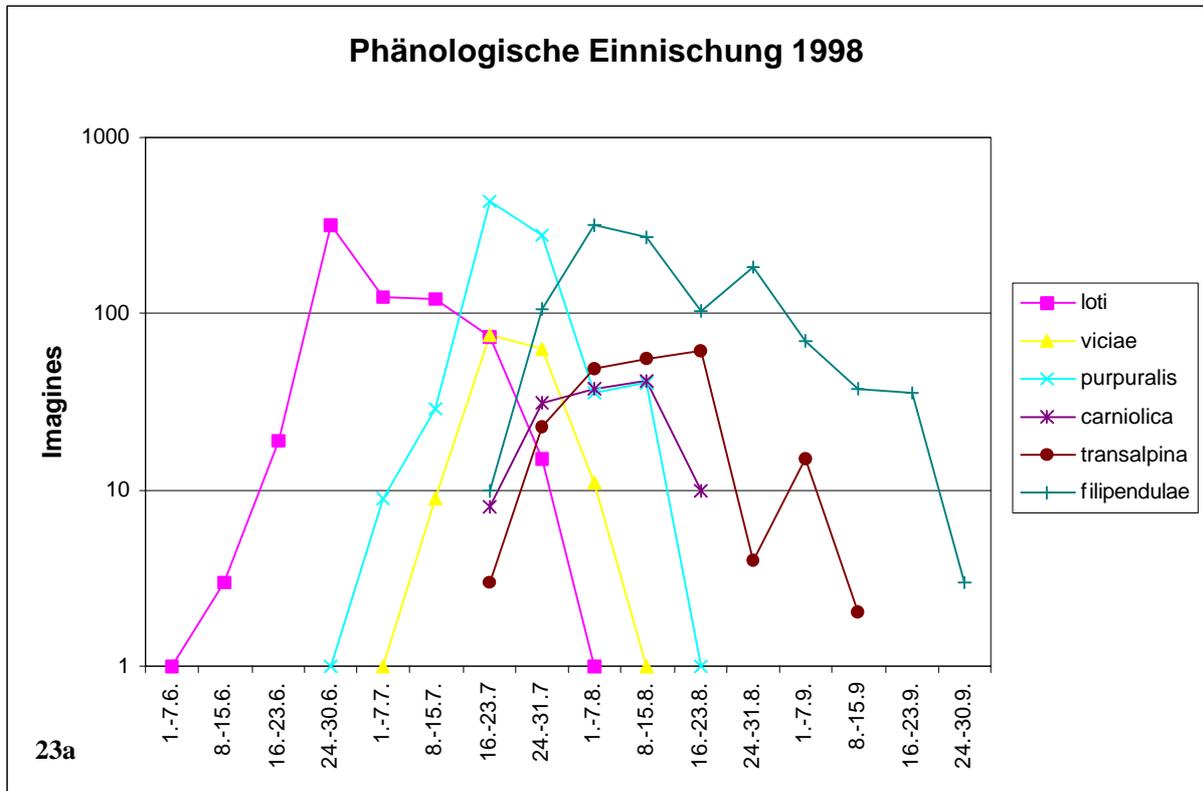
beiden waren knapp sechs Millimeter lang und wesentlich dünner, so daß sie etwa zwei Freßstadien jünger waren. Ein Tier hatte sich offensichtlich gerade erst aus der Diapause gehäutet und war bis zur ersten Nahrungsaufnahme noch glasig-farblos. Eine ähnliche Länge wie letztere wiesen drei gefundene Raupen von *Z. viciae* auf. Am 12.IV.02 fand ich dort weitere drei Raupen (11 mm, 9 mm und 7 mm). Die größeren Raupen hatten wahrscheinlich bereits zum zweiten Mal überwintert, die drei kleineren hingegen zum ersten Mal. Theoretisch wäre auch eine Überwinterung größerer Larven denkbar, sei es durch direkte Entwicklung oder vorzeitige Rückhäutung aus der begonnenen Diapause noch im Spätsommer. In der Zucht (vgl. 3.7.1) wie auch bei den Freilandbeobachtungen waren allerdings keine Raupen bei der ersten Überwinterung ähnlich groß, wohl aber hingegen repetitive Überwinterer beim zweiten Mal. Zudem hatten die beiden knapp sechs Millimeter langen Larven vom 31.III. offensichtlich etwas größer überwintert als die meisten Tiere im Untersuchungsgebiet bei der ersten Überwinterung (3-4 mm).

Festzuhalten ist somit, daß sowohl bei früher Flugzeit (Alpenvorland) als auch bei großteils später (Untersuchungsgebiet) jeweils beim Beginn der Aktivität im Frühjahr zwei Größenklassen von Raupen angetroffen werden können. Bei den im Untersuchungsgebiet selteneren, größeren Raupen handelt es sich zumindest zum Teil um repetitive Überwinterer, die anscheinend in Biotopen mit früher Flugzeit von *Z. filipendulae* häufiger sind. Diese werden offensichtlich vor den anderen aktiv und erzeugen die früh fliegenden Falter, auch weil sie vermutlich zum Teil nur mehr zwei Freßstadien bis zur Verpuppung benötigen. Dabei ist in Biotopen mit früher Falterflugzeit sowohl der jeweilige Aktivitätsbeginn der Larven früher als auch vermutlich ihre Überwinterungslänge (bei erster Diapause) größer. Auch im Alpenvorland bei Memmingen wurden um 1990 mehrfach bereits im Mai zahlreiche ausgewachsene Larven von *Z. filipendulae* neben kleineren von *Z. viciae* an breiten Wegrändern durch Wälder beobachtet. In einem Moorkomplex bei Füssen (Ostallgäu) schließlich konnten auf 800 m NN am 8.VII.01 zahlreiche Falter (manche bereits abgeflogen) sowie noch wenige ausgewachsene Raupen an *Lotus uliginosus* (= *L. pedunculatus*) gefunden werden. Im Untersuchungsgebiet wurden Larven von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen erst viel später registriert. Eine Größe von einem Zentimeter wurde nicht vor Mitte Mai erreicht, so daß das Größenverhältnis *Z. filipendulae* zu *Z. viciae* allgemein umgekehrt war.

Weitgehend ähnlich sind die Flugzeiten, die KREUSEL & BÖHMER (1998) bei einer Untersuchung auf der mittleren Schwäbischen Alb im Raum Blaubeuren für acht Rotwidderchenarten (keine *Z. ephialtes*) ermittelten. Auch wenn in dieser Arbeit *Z. minos* und *Z. purpuralis* nicht konsequent aufgeschlüsselt wurden, so vermuten die Autoren, daß *Z. minos* als früheste Art bereits Mitte Juni zu fliegen beginnt. Interessant ist aber bei der teils ähnlich wie auf der Ostalb in höherer Dichte vorkommenden *Z. filipendulae* ein zumindest im untersuchten Jahr 1994 frühes Flugzeitende bereits Mitte August. Der Beginn lag dagegen mit Mitte Juli um die gleiche Zeit wie im Untersuchungsgebiet, mit nur wenigen früheren Tieren Anfang Juli. Auch *Z. transalpina* klang dort noch vor Ende August aus. Die Biotope sind bei Blaubeuren eher kleinflächige, allesamt brach gefallene Kalkmagerrasen mit demnach vermutlich größerflächiger verfilzender Vegetation.

Insgesamt schlossen sich im Untersuchungsgebiet die frühen Arten mit den späten weitgehend aus (Abb. 23). Eine starke Überschneidung war aber zu der Zeit gegeben, in der die mittelspäten voll flogen, die frühen ausklangen und die späten gerade erschienen. Dies war besonders in der zweiten Julihälfte der Fall. In Jahren mit kühlem Frühjahr (besonders 2001) erschienen die frühen Arten später, was eine stärkere Überschneidung und Komprimierung der Widderchen-Gesamtflugzeit bedingte (Abb. 23d). Später fliegende Arten waren anscheinend unabhängiger von der Frühjahrswitterung. Das ebenfalls frühe Flugzeitende war 2001 durch die Schlechtwetterperiode im September verbunden mit hoher Parasitierung von

*Z. transalpina* und *Z. filipendulae* bedingt. Einen Einfluß dürfte auch der heiße Juli und August gehabt haben, so daß bis Ende August bereits viele Tiere geflogen sind. 2000 sind durch den kühlen und nassen Juli späte Arten teils verzögert worden, was zu einer ausgedehnteren Flugzeit bei diesen führte und in Verbindung mit dem warmen Frühjahr zu einer stärkeren relativen Trennung zwischen den Arten (Abb. 23c).



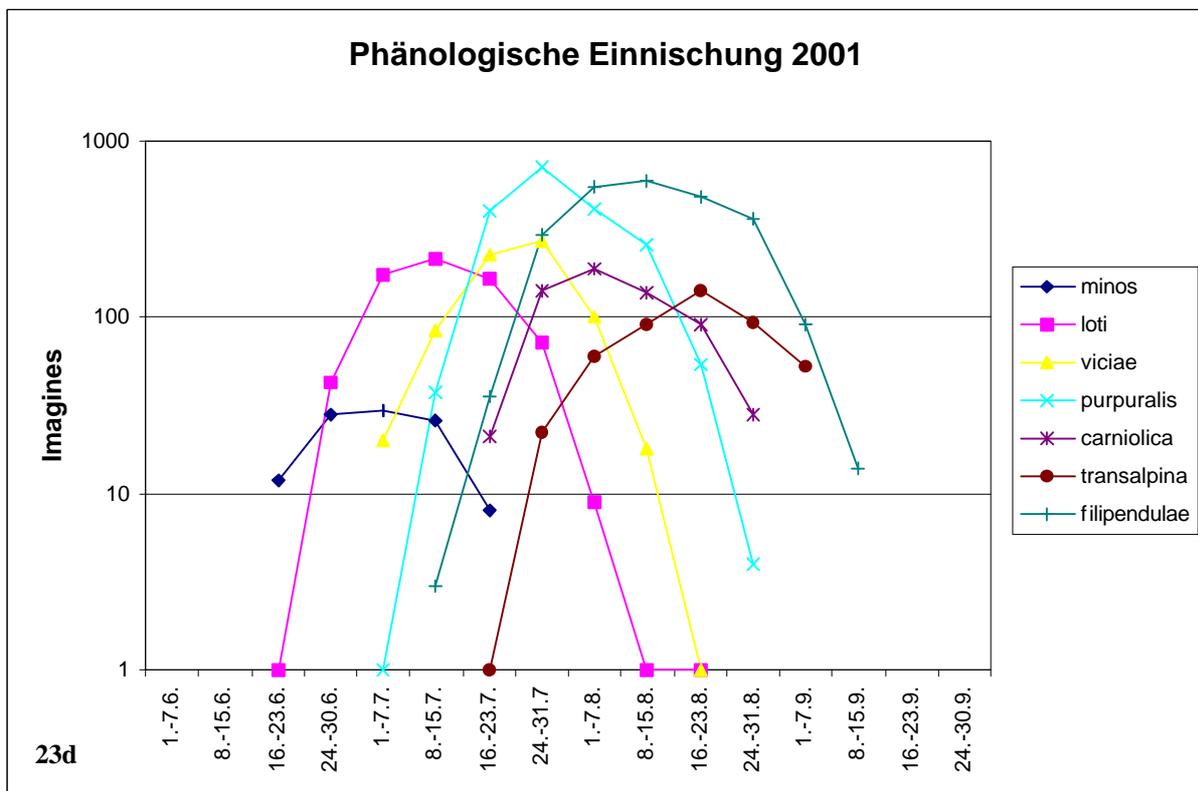
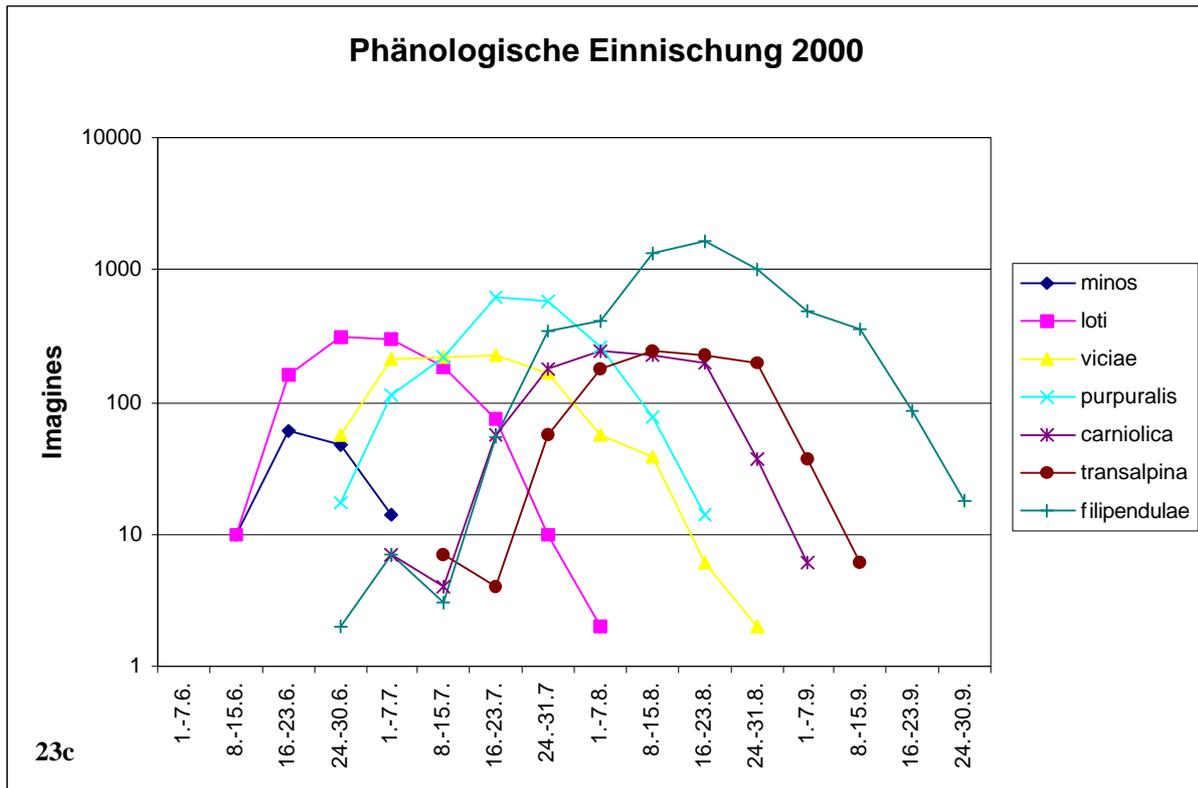


Abb. 23a-d: Phänologische Einnischung der Widderchen im Untersuchungsgebiet von 1998-2001 unter Verwendung einer logarithmischen Skala für die Y-Achse. Zu beachten ist die stark unterschiedliche Anzahl der Untersuchungsgebiete 1998-1999 (7) einerseits und 2000-2001 (je knapp 30) andererseits. Die Werte vom 8.-15.7. 2000 (c) sind bei *Z. loti* und *Z. viciae* wegen witterungsbedingt weniger Begehungen durch die Mittelwerte der beiden Nachbarwochen ersetzt (vgl. 2.3.2).

#### 4.2.2 Nahrungsbiologie

Eine weitere Ebene der Einnischung ist die Wahl der Nahrungspflanze besonders der Larven. So sind Arten, die sich nach der Phänologie überschneiden, meist nahrungsbiologisch getrennt. Arten mit unterschiedlicher Phänologie können sich dagegen dieselbe Raupen-Nahrungspflanze teilen, beispielsweise *Z. transalpina* und *Z. loti*. Bei den Faltern war eine deutliche Einnischung in den allgemeinen Blühaspekt ihrer Habitate gegeben. Die größten Widerchendichten korrelierten mit der größten Blütendichte. Artliche Unterschiede bei den Nektarpflanzen beruhen allerdings vermutlich nicht auf Koexistenzstrategien, sondern auf unterschiedlicher Phänologie und Habitatansprüchen.

*Zygaena filipendulae* frißt als Larve ausschließlich Hornklee, die syntope und synphäne *Z. transalpina* vorwiegend Hufeisenklee. *Zygaena loti* ernährt sich von Esparsette, Hufeisenklee und Kronwicke, *Z. minos* dagegen von Kleiner Bibernelle. *Zygaena viciae* ist auf Fabaceen spezialisiert, *Z. purpuralis* wiederum auf den Lippenblütler Thymian.

Bei *Z. transalpina* fressen Populationen des transalpinoiden Stammes etwa im Allgäu auch an Hornklee und sogar Sumpf-Hornklee (WAGNER 2002). Die starke Fixierung der hippocrepidoiden Populationen des Untersuchungsgebiets auf Hufeisenklee könnte es der Art ermöglichen, mit den zahlreichen Raupen der synphänen *Z. filipendulae* zurechtzukommen. Ob sich diese Nahrungspflanzenwahl als aktive Koexistenzstrategie herausgebildet hat oder auf anderen Ursachen wie differierenden Bedingungen bei der glazialen Persistenz beruht, ist schwer zu klären. Da *Z. t. hippocrepidis* aber in der Zucht problemlos *Lotus* frißt und die Art ferner in ihrem Vorkommen stark von *Hippocrepis* limitiert war (vgl. 3.5.2), liegt eine Koexistenzstrategie nahe. Bei einer Akzeptanz von *Lotus* im Freiland stünden ihr nämlich wesentlich mehr geeignete Habitate zur Verfügung, sie müßte dafür aber mit *Z. filipendulae* konkurrieren.

Bei *Z. carniolica* und *Z. filipendulae* war aber eine phänologische Überschneidung an der gleichen Nahrungspflanze Hornklee unter denselben Habitatbedingungen gegeben. Die sich ergebende potentielle Konkurrenz wurde jedoch dadurch gemildert, daß die Raupen von *Z. carniolica* bereits im Juni ausgewachsen waren, die meisten Larven von *Z. filipendulae* aber erst im Juli bis Anfang August. Hier liegt also ähnlich den Faltern von *Z. purpuralis* und *Z. minos* eine relative Trennung von etwa drei Wochen vor.

Die Falter waren gut an die Blühphänologie in den Habitaten angepaßt. Die frühen Arten erschienen gerade zu dem Zeitpunkt, wenn die ersten widerchentypischen Nektarpflanzen wie *Echium vulgare*, *Dianthus carthusianorum* und *Knautia arvensis* zu blühen begannen. Ein bis zwei Wochen vor Erscheinen der Falter waren im allgemeinen noch keine Blüten dieser Arten vorhanden. Zu dieser Zeit blühten dafür beispielsweise *Hippocrepis comosa* und *Cerastium arvense*, die für Widderchen völlig uninteressant sind. Nur *Salvia pratensis* blühte bereits ab Mitte Mai und wurde auch gelegentlich von *Z. minos* im Juni besucht. Eine eventuell für Widderchen geeignete Pflanze wäre die Kugelblume (*Globularia elongata*). Diese blüht aber bereits Ende April und Anfang Mai. So früh können Widderchen im Untersuchungsgebiet aufgrund ihres Entwicklungszyklus mit Überwinterung als maximal halberwachsene Raupe aber nicht erscheinen. Die meist geringere Abundanz der frühen Arten ist zum Teil auf Nektarpflanzenmangel zurückzuführen. So kam *Dianthus* nicht in allen Biotopen und oft nur kleinflächig vor. Am südlichen Wartberg deckte sich die Verbreitung dieser Pflanze mit der von *Z. minos* völlig und war auf den mittleren Südhang beschränkt. Fast sämtliche Nektarbesuche stammten hier von dieser Art. *Knautia* hingegen kam vermehrt nur an Säumen oder frischeren Stellen vor, die mit dem Larvalhabitat der Widderchen verzahnt sein müssen, um diesen ausreichende Ernährungsgrundlage bieten zu können. Im Gebiet Steinfeld fand sich *Knautia* besonders häufig am Fuß der Heide zur Straße hin, wo sich

2001 die Falter von *Z. minus* konzentrierten. Zusätzlich war auch *Dianthus* nicht selten, was schließlich in Verbindung mit großflächig geeignetem Larvalhabitat die Häufigkeit des Widderchens an diesem Fundort erklärt. *Echium* schließlich wuchs zahlreich nur an Stellen mit Offenbodenanteil und ist nach eigenen Beobachtungen im jungen Zustand (Juni) vergleichsweise beweidungsempfindlich. Vor allem in Teilen der Gebiete Ramenstein und Hetzenäcker war *Z. minus* auf diese Art angewiesen.

*Z. loti* reagierte weniger stark auf die Verteilung der Nektarpflanzen. Einmal flog sie etwas länger, bis Anfang August, und zum anderen korrelierten die am stärksten genutzten Larvalhabitate in Säumen oder zumindest in Kontakt zu solchen mit dem Vorkommen von *Knautia*, die dann auch mit 34 % die meistbesuchte Pflanzenart war. Darüber hinaus war *Z. loti* weniger wählerisch und nutzte in verstärktem Ausmaß gelbe (sogar Fabaceen) und weiße Arten.

Mittelspäten Arten im Juli bis Anfang August standen deutlich mehr Nektarpflanzen zur Verfügung. Neben den bereits im Juni blühenden Arten waren dies ganz besonders *Origanum vulgare*, Disteln der Gattungen *Carduus* und *Cirsium* sowie auch bereits *Scabiosa columbaria* und *Centaurea jacea*. Die Verteilung der wichtigsten Nektarpflanzen war bei den einzelnen Widderchenarten habitatbedingt (vergleiche 4.2.3). So waren für *Z. viciae* und *Z. loniceræ* *Knautia* und *Origanum* wichtig, für *Z. purpuralis* dagegen neben *Origanum* mehr *Scabiosa*.

Ende Juli bis in den September, also zur Flugzeit der späten Arten, wurden besonders große Blütendichten bei *Scabiosa* und *Centaurea* festgestellt. Dafür waren die anderen Pflanzen entweder fast ganz abgeblüht (*Echium*) oder zumindest in nur mehr geringerer Zahl (*Dianthus*, *Knautia*) vorhanden. Ab Mitte August verschwanden auch *Origanum* und die Disteln langsam. So verwundert es nicht, daß *Centaurea* und ganz besonders *Scabiosa* bei den spät fliegenden Widderchen die mit Abstand meistbesuchten Blütenpflanzen waren. Dabei waren aber *Z. transalpina* und *Z. carniolica* deutlich stenanthier als *Z. filipendulae*, die auch eine Vielzahl anderer, wenig widderchentypischer Arten wie zum Beispiel *Calluna vulgaris* oder *Odontites vulgaris* zur Nektaraufnahme nutzte und hierin mit der Frühsommerart *Z. loti* vergleichbar war.

Insgesamt kann festgehalten werden, daß artliche Präferenzen innerhalb der widderchentypischen Nektarpflanzen zum großen Teil auf phänologischen Unterschieden und solchen in der Habitatwahl der Tiere beruhen. In anderen Gegenden werden von Rotwidderchen ähnliche bzw. je nach Vorkommen die selben Arten präferiert (STEFFNY 1982, HOFMANN 1994, KREUSEL & BÖHMER 1998, NAUMANN et al. 1999, AISTLEITNER 1990 etc.). Gemeinsame Merkmale der sogenannten „widderchentypischen“ Blüten können wie folgt zusammengefaßt werden: Sie erreichen meist eine gewisse Höhe über dem Boden (ca. 0,3-1m). Direkt in Bodennähe blühende Arten waren dagegen weit weniger interessant, so beispielsweise *Cirsium acaule* oder *Thymus pulegioides* agg. Weiterhin bestehen sie entweder aus umfangreicheren Infloreszenzen vom Scheiben- und Körbchentyp (Asteraceae, Dipsacaceae) oder zumindest aus dicht gedrängten Blütenständen mit mehreren bis vielen Einzelblüten (*Echium*, *Dianthus*, *Origanum*, *Onobrychis*). Hier können die Tiere gut landen und überdies steht ihnen so ein größerer Nektarvorrat zur Verfügung. Dieser wurde bei langen Verweilzeiten auf einem Blütenstand, besonders abends und morgens, insofern gut ausgenutzt, als daß die Tiere immer wieder sämtliche Einzelblüten nach und nach besaugten. Kleine, einzeln stehende Blüten wurden dagegen kaum beachtet, so die Nelke *Petrorrhagia prolifera*.

Schließlich wurde die Blütenfarbe blau bis violett stark bevorzugt und machte bei den meisten Arten mehr als 95 % aller Besuche aus. Nach PRINZ & NAUMANN (1988) haben die Facettenaugen der Art *Z. trifolii* ein Empfindlichkeitsmaximum bei 460 nm, was ultramarin-

blau entspricht. Zusätzlich wurden in einer Studie an derselben Widderchenart (OCKENFELS et al. 1990; NAUMANN et al 1991) in Blütenextrakten von *Knautia arvensis* Stoffe nachgewiesen, die Rezeptoren in den Antennen des Widderchens zu stimulieren vermögen und große Ähnlichkeit mit dem männlichen Pheromonbouquet von *Z. trifolii* aufweisen. Die ebenfalls starke Bevorzugung der nahe verwandten Gattung *Scabiosa* (HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999) läßt darauf schließen, daß es sich bei den anderen heimischen *Zygaena*-Arten ähnlich verhält.

Insgesamt war die Widderchenphänologie auch in den einzelnen Gebieten stark an die Blühphänologie gebunden. Wo spät blühende Pflanzen im August und September selten waren (Mühlhalde, Stürzlesberg), waren die Widderchen insgesamt früher unterwegs. Daß in Gebieten mit großem Anteil spät fliegender Arten (Wartberg, Benzenberg) der Höhepunkt der Widderchenflugzeit scheinbar etwas nach dem der Blüten lag (vgl. 3.8.2.), ist teilweise auf einen methodischen Artefakt zurückzuführen. Andere Phänologien der Widderchen in anderen Gebieten dürften mit einiger Wahrscheinlichkeit mit dem dortigen Blühaspekt zusammenhängen. So liegt die Hauptblüte widderchentypischer Pflanzen sowohl am warmen Oberrhein (HOFMANN 1994) als auch in kühleren Tieflagen am Alpennordrand (AISTLEITNER 1998, eigene Beobachtungen) früher. Bereits in der ersten Junihälfte 2000 fliegende *Z. loti* an einem Fundort im Montafon (vgl. 4.2.1) waren genau in die dortige Hauptblüte von *Knautia arvensis* eingepaßt. Vier Wochen später waren kaum Blüten und keine Falter mehr zu sehen.

#### 4.2.3 Habitatansprüche

Versucht man die in der Gebietsanalyse gewonnenen Ergebnisse über die Bedingungen für starke Populationen der jeweiligen Arten in Form eines Ökogramms darzustellen (Abb. 24), so fällt auf, daß um einige zentrale, weite Bereiche abdeckende und somit im Untersuchungsgebiet euryökere Arten wie *Z. loti* oder *Z. purpuralis* die stenökeren wie Trabanten angeordnet sind. So ist *Z. carniolica* nach trocken-mager verschoben, *Z. viciae* und *Z. lonicerae* hingegen nach wenig mager und schwach beweidet beziehungsweise weniger lückig und stärker mesophil.

Auch wenn die ökologischen Valenzen der einzelnen Arten in Bezug auf den wenigstens in geringer Dichte besiedelbaren Lebensraum größer sind als der im Ökogramm dargestellte Optimumsbereich, wird doch eine räumliche Einnischung nach den untersuchten Faktoren deutlich. In den Randbereichen des Ökogramms werden die euryökten Arten dann von mehr spezialisierten begleitet und teils abgelöst. *Zygaena carniolica* drang beispielsweise weiter in den beweideten, mageren, trockenen, gehölzarmen und steinig-lückigen Bereich vor als *Z. purpuralis* oder *Z. loti* (Hoher Rain, Eschklinge, Teile des Benzenbergs, Riesrand bei Bopfingen). Die im Ökogramm nicht dargestellte *Z. filipendulae* wies in den Halbtrockenrasen eine so große ökologische Valenz auf, daß sich ihr Optimumsbereich über fast die gesamte Fläche erstrecken würde. Ein Maximum ist allerdings in Richtung *Z. carniolica* auszumachen.

Insgesamt kann eine Einteilung der Arten nach der Magerkeit und Beweidung des Lebensraums erfolgen. Besonders *Z. viciae*, aber auch *Z. lonicerae*, *Z. ephialtes* und *Z. transalpina* sind Saumarten, die eine meist höhere Vegetationsstruktur oder aus anderem Grund eine geringe Beweidung benötigen.

Dabei belegt *Z. viciae* den mesophilsten Bereich (Tabelle 19; Abb. 24) mit geringerer Trockenheit und Lückigkeit. Anderswo lebt die Art auch in Niedermooren, beispielsweise Pfeifengraswiesen am Alpenrand (HOFMANN 1994, WEIDEMANN & KÖHLER 1996, SBN 1997, eigene Beobachtungen). Sie erreicht dort auf extensiven, maximal einschürigen Mähwiesen

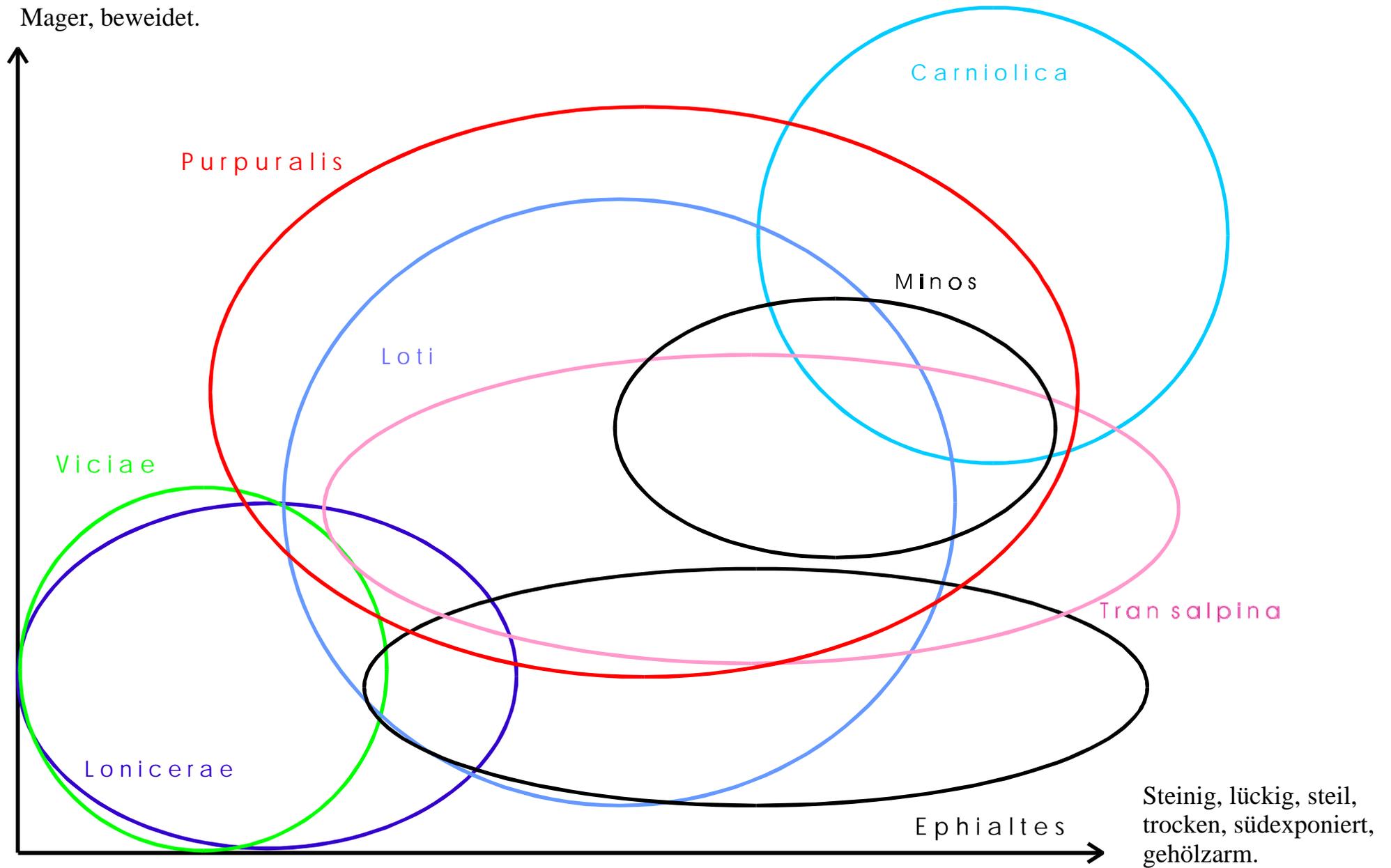


Abb. 24: Versuch eines Ökogramms für die Widderchen im Gebiet (Optimalbereiche für starke Populationen).

oder besonders in Brachestadien ebenso starke Populationen wie an den besten Stellen im Untersuchungsgebiet, nämlich den mesophilen Bereichen Anhausen, Mühlhalde und Hirschhalde (nördliche Plateauheide; vgl. Anhang). In den Alpen steigt das Tier nur bis etwa auf 1200-1700 m NN.

*Zygaena lonicerae* dringt bereits weiter in trockenere Bereiche vor, ist aber immer noch für mesophilere Halbtrockenrasen mit Gehölzen in Waldnähe (Tabelle 19; Abb. 24) typisch. Optimallebensräume dieser im Untersuchungsgebiet individuenschwachen Art sind weniger Halbtrockenrasen, sondern trockene bis wechselfeuchte Waldlichtungen und Säume in warmen, lichten Niederwaldgebieten. Darauf deutet auch, daß bei anderen Untersuchungen (KREUSEL & BÖHMER 1998; SMOLIS & GERKEN 1987) auf mehr oder weniger offenen Kalkmagerrasen ebenfalls nur geringe Individuenzahlen vermeldet wurden. Beispielsweise im südlichen Steigerwald (Nordbayern) können hingegen an Waldsäumen mit *Lathyrus* sp., *Vicia* sp. und *Trifolium alpestre* im Juni Raupen in hoher Dichte beobachtet werden (eigene Beobachtungen; WEIDEMANN & KÖHLER 1996), die hier etwa drei bis vier Wochen nach den Larven von *Zygaena osterrodensis* erwachsen sind. In den Alpen findet sich der Falter meist in lichten (Weide-)Wäldern bis 2000 m NN (SBN 1997).

*Zygaena ephialtes* ist weiter zum xerothermen Flügel rechts im Ökogramm hin orientiert. Die Art ist hier aber über einen weiteren Bereich verteilt, so daß das Vorkommen am stärksten von dem eines ausreichenden und nicht ständig von Schafen verbissenen Bestandes der Raupennahrungspflanze *Coronilla varia* bestimmt wurde (Tabelle 19). Da die Nahrungspflanze sehr unter Beweidung leidet und die schwächer beweideten Säume meist eher kleinflächig ausgebildet waren, gehört das Widderchen zu den seltensten Arten im Untersuchungsgebiet. Optimallebensräume sind aufgrund geringer oder fehlender Beweidung flächig ver-saumende Trockenrasen in heißer Südhanglage mit Schotterbereichen etc. (Hirschhalde) sowie andererseits *C. varia*-reiche, großflächigere Ruderalbereiche. Dies gilt auch für Fundorte außerhalb des Untersuchungsgebietes (WEIDEMANN 1996, HOFMANN 1994). In den Nordalpen ist die Art mit der Raupennahrungspflanze auf tiefeingeschnittene Flußtäler beschränkt, etwa das Lechtal (TARMANN 1975).

*Zygaena transalpina hippocrepidis* ist wiederum vergleichsweise in den magereren Bereich (Abb. 24) verschoben und verträgt auch etwas mehr Beweidung. Trotzdem waren an den Vorkommensorten meist Saumarten der Origanietalia (besonders *Geranium sanguineum*) unter den Gefäßpflanzen häufig, so etwa *Anthericum ramosum*, *Aster amellus* oder *Bupthalamum salicifolium* (vgl. 3.6.2). Gleichzeitig wuchsen dort oft auch Xerobromion-Arten wie *Teucrium montanum* und *Globularia elongata*. Der Grund dafür, warum Biotope der Art eine durchschnittlich größere Magerkeit aufweisen, ist wohl die Limitierung des Vorkommens durch *Hippocrepis comosa* (Tabelle 19). Diese gedeiht als konkurrenzschwache Art nur in niedrigwüchsigeren Beständen ausreichend.

Der hippocrepidoide Stamm von *Z. transalpina* weist auch außerhalb des Untersuchungsgebiets einen xerothermen Charakter auf (HOFMANN 1994), während der transalpinoider Stamm eine größere Plastizität zeigt. So kommen auch Populationen in nassen und sauren Kahlschlagsflächen in Fichtenforsten am Sumpf-Hornklee (*Lotus uliginosus* = *L. pedunculatus*) vor (WAGNER 2002). In den Alpen sind Populationen bis über 2000 m NN zu beobachten.

*Zygaena carniolica* ist dagegen keine Saumart, sondern im Untersuchungsgebiet ein Tier gehölzärmer, magerer und oft noch beweideter Halbtrockenrasen, die sich zugleich durch ein trocken-warmes Mikroklima auszeichnen, etwa durch hohen Steinanteil, Südexposition oder Offenbodenstellen (Tabelle 19; Abb. 24). Dabei ist die Beweidung nur ein sekundärer Faktor, der durch die Verhinderung einer großflächigen Verfilzung sonst nicht nutzbare Bereiche erschließt. Wenn die Fundorte auch ohne Beweidung ausreichend xerotherm waren wie beispielsweise an der Rappeshalde, wurden sie auch gut von der Art besiedelt. Von der

Biologie der Art wird die Schafweide im Gebiet problemlos vertragen, da die Esparsette hier nur eine untergeordnete Rolle als Raupennahrung spielt. In Habitaten in anderen Gebieten, soweit in ihnen eine intensivere Bindung an *Onobrychis viciifolia* realisiert ist, dürfte das Widderchen dagegen mit der stark von Schafen verbissenen Esparsette deutlich empfindlicher auf starke Beweidung reagieren. In ihrer Gesamtverbreitung in Mitteleuropa ist die Art allgemein auf hängige, xerotherme und meist kalkreiche Lagen beschränkt (HOFMANN 1994). In den Alpen fehlt das Widderchen.

*Zygaena minos* ist im Gebiet ebenfalls auf meist hängige, trockenheiße Flächen mit gut entwickelter Mooschicht konzentriert. Diese wiesen aber häufig eine etwas stärker entwickelte Vertikalstruktur bei der Vegetation auf und waren nicht ganz so mager und potentiell stark beweidet wie bei *Z. carniolica*. Insgesamt liegt der Optimumsbereich von *Z. minos* vollständig innerhalb des von *Z. purpuralis* (Abb. 24), weshalb beide Arten im Untersuchungsgebiet syntop auftraten.

In anderen Gebieten findet sich das Widderchen bevorzugt in xerothermen Niederungen. Über etwa 1000 bis maximal 1500 m NN fehlt die Art, so etwa in großen Teilen der Alpen. Besiedelt werden auch kontinentale, mesophilere und teils silikatische Mähwiesen, wie beispielsweise auf der Baar (HOFMANN 1994) oder Goldhaferwiesen in Vorarlberg (AIST-LEITNER 1998). Einige Vorkommen wurden aus Mooren wie dem Wurzacher Ried berichtet (HOFMANN 1994), wobei dort über die näheren Umstände anscheinend wenig bekannt ist. Der Falter dürfte hier mit der Nahrungspflanze auf trockenere Bereiche wie Wegränder beschränkt sein.

Von den beiden in weiten Bereichen vorkommenden *Z. loti* und *Z. purpuralis* (Abb. 24) dringt letztere etwas weiter in trockene, felsige, magere und stark beweidete Bereiche ein (Hoher Rain, Eschklinge). Starke Populationen der Art fehlten dafür weitgehend in stark verfilzten Gebieten, wo *Z. loti* durchaus noch stärker vertreten sein konnte (Mühlhalde, nördlicher Teil der Plateauheide im Steinbruch Hirschhalde). Da Thymian aber auch in verfilzten Beständen an Sonderstellen wie Ameisenhaufen oder randlich an Trampelpfaden vorkommt, waren auch dort häufig allerdings individuenarme Populationen von *Z. purpuralis* anzutreffen. Seinen Schwerpunkt hatte das Thymian-Widderchen an steilen Hängen mit flächigen Polstern der Nahrungspflanze über Moos und Schotter (vgl. 3.6.2).

Obwohl ich Raupen von *Z. loti* auch in ganz mageren Bereichen mit Hufeisenklee antraf, hat die Art eine gewisse Tendenz zu Säumen und mesophileren Halbtrockenrasen. Nur hier waren hohe Populationsdichten möglich, so etwa an Bläßhalde, Moldenberg und Hirschhalde. *Zygaena loti* ist in Mitteleuropa insgesamt weit verbreitet und findet sich an extensiv bewirtschafteten Stellen mit mehr xerothermem Mikroklima (HOFMANN 1994). In den Alpen steigt das Tier an besonnten Hängen bis maximal 2500 m NN.

Auch *Z. purpuralis* ist weit verbreitet, kommt bis über 2000 m NN in den Alpen vor und dringt auch in Moorbiotope ein (HOFMANN 1994). An letzteren dürfte der Falter mit der Raupennahrungspflanze an relativ trockene Stellen gebunden sein.

*Zygaena filipendulae* besiedelt im Gebiet alle möglichen Magerrasen. Auch anderswo weist sie eine große ökologische Plastizität auf (SBN 1997; HOFMANN 1994) und bewohnt beispielsweise auch Moorbiotope, so Niedermoorbereiche mit *Lotus uliginosus* im Alpenvorland. Intensiver bewirtschaftetes, mehrmals im Jahr gemähtes Grünland meidet aber selbst diese Art vollständig. Hier ist sie dann – falls noch vorhanden – auf extensivere Straßenränder zurückgedrängt. In den Alpen erreicht sie stellenweise bis 2500 m NN (SBN 1997).

Widderchen sind häufig in der Lage, auf kleinen Flächen größere Populationsdichten zu erreichen. Im Untersuchungsgebiet waren besonders *Z. purpuralis*, *Z. transalpina*, *Z.*

*viciae* und *Z. filipendulae* dazu befähigt. Auch *Z. carniolica* besiedelte kleine Lebensräume, aber meist in nicht allzu großer Dichte. Diese wurde erst in großflächigeren Habitaten wie der Hirschhalde oder dem Wartberg erreicht. In anderen Gegenden – anscheinend besonders bei starken Esparsette-Vorkommen – reichen auch kleinere Biotope hierfür aus (eigene Beobachtungen).

Eher große Gesamtgebiete benötigten im Untersuchungsgebiet *Z. minos*, *Z. ephialtes* und *Z. loniceræ*, wenn auch bezogen auf die Teilflächen eine Signifikanz wegen zu geringer Datengrundlage nicht nachgewiesen werden konnte. Dabei fällt auf, daß es sich dabei um die drei Arten mit den individuenschwächsten Populationen im Gebiet handelt. In kleinen Biotopen ist dabei wohl das Aussterberisiko größer als die Chance einer Neubesiedelung (vgl. 4.5).

Tabelle 19: Vermutliche Limitierung von Verbreitung und Abundanz der Widderchenarten im Untersuchungsgebiet (XX = starker Einfluß; X = schwächerer Einfluß, mehr nur auf die Abundanz) aufgrund der Gebietsanalyse. Ein vorgestelltes Minus bedeutet negative Abhängigkeit, Klammern einen vermutlichen Artefakt aufgrund zufälliger Verteilung der Untersuchungsgebiete.

Faktor	<i>minos</i>	<i>ephi- altes</i>	<i>loni- ceræ</i>	<i>trans- alpina</i>	<i>carnio- lica</i>	<i>viciae</i>	<i>loti</i>	<i>pur- puralis</i>	<i>filipen- dulae</i>
Raupen- nahrung	X	XX		XX	X		X	X	
Expo- sition	XX	X		X	XX		X	X	X
Hangnei- gung	X			X	XX				
Dek- kungsgrad					-XX	-X		-X	
Waldnähe	(X)		XX		(-X)	(X)		(X)	
Verfil- zungsgrad			XX		-X	XX	X	-X	
Trok- kenheit		X	-X	X	XX	-XX			X
Moosbe- deckung	X						X	X	X

### 4.3 Mechanismus der zeitlichen und räumlichen Einnischungsphänomene

#### 4.3.1 Notwendige Entwicklungszeit der Arten

Phänologie und Habitatansprüche müssen jeweils im Zusammenhang der potentiellen Möglichkeiten der Arten, besonders ihrer notwendigen Entwicklungsdauer, gesehen werden. Nach den Ergebnissen von Zuchtversuchen und Freiland-Phänologie insbesondere der Larven können die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Widderchen eingeteilt werden in Arten, die weitgehend die ganze Vegetationsperiode zur Entwicklung ihrer einzigen Faltergeneration benötigen und solche, die zeitliche, inaktiv zugebrachte Reserven aufweisen.

Zu ersterer Gruppe gehört besonders *Z. carniolica*. Die Raupen beenden bereits Ende März bis Mitte April die Diapause, wenn zeitweilig noch Schnee fallen kann. Die aus der entstehenden Faltergeneration resultierenden Jungraupen erreichen im Herbst die Diapause von September bis Anfang oder Mitte Oktober. Wegen des relativ großen Wärmeanspruchs der Art, der aus der relativ südlichen Gesamtverbreitung mit Ausschluß der höheren Gebirge (Alpen) abgeleitet werden darf, ist im Gebiet eine frühere oder noch spätere Aktivität im langjährigen Mittel nicht möglich. Die Flugzeit des Falters ist vergleichsweise kompakt.

Zur zweiten Gruppe gehören Arten wie *Z. minos*, *Z. loti* und *Z. filipendulae*, die aber eine jeweils unterschiedliche Strategie verfolgen. *Zygaena minos* hat ihren Entwicklungszyklus jahreszeitlich soweit nach vorn verlagert wie irgend möglich. Ihre Raupe beendet die Diapause bereits bis Mitte März, frißt selbst in sonnigen Phasen zwischen Schneeschauern, wächst bei teils nur drei Freßstadien nach der Überwinterung rasch heran und ist nur während maximal drei Wochen im Mai ausgewachsen zu finden. Die Angabe der Anzahl der Freßstadien beruht allerdings auf Zuchtbeobachtungen und müßte im Freiland noch genauer untersucht werden. Ein Zusammenhang mit der Proterandrie wäre denkbar, so daß männliche Raupen eventuell ein Häutungsstadium weniger haben könnten als weibliche. Die Nachkommen der von Juni bis Mitte Juli fliegenden Falter erreichen bereits im Juli bis Anfang August die Diapause, verbringen also im Spätsommer und Herbst mindestens acht bis zehn Wochen der Vegetationszeit inaktiv. Noch zeitiger im Jahr ist eine Aktivität nicht möglich, schon allein deshalb nicht, da die Futterpflanze nicht vor März auszutreiben beginnt.

Ähnlich verhält es sich mit *Z. loti*. Auch hier wird teils bereits Ende März die Diapause beendet, wie Raupenfunde Anfang April zeigen. Die Nachkommen der folgenden Faltergeneration sind dann ab Mitte August bis Anfang September in Diapause und verbringen so sechs bis acht Wochen der Vegetationszeit bis Ende Oktober inaktiv. Bei dieser Art liegt aber eine größere Streuung im Aktivitätsbeginn vor, welche die größere mikroklimatische Spannweite der besiedelten Habitate widerspiegeln dürfte.

Den umgekehrten Weg beschreitet *Z. filipendulae*, nämlich eine teilweise Aktivitätsverlagerung zeitlich nach hinten. Hier sind im Gebiet nur wenige Raupen, anscheinend besonders repetitive Überwinterer, schon vor Mitte April freßaktiv. Die allermeisten Tiere beenden die Diapause recht variabel erst ab Mitte April und im Mai. Damit verbringen sie mindestens vier bis acht Wochen der Vegetationszeit inaktiv in Diapause. Erwachsene Raupen streuen demzufolge sehr stark und sind im Gebiet während über zehn Wochen nachzuweisen. Hier spielt auch die Überwinterung in verschiedenen, oft auch jüngeren (L2<sub>D</sub>-L3<sub>D</sub>) Larvalstadien (inklusive repetitiven Überwinterern) eine Rolle, was aber bei anderen Arten ebenfalls zu erwarten ist. Da sich die Raupen großteils erst im Mai bis Juli bei wärmeren Temperaturen entwickeln, ist ihre Entwicklungsdauer trotz der oft ein bis zwei zusätzlichen Freßstadien im Vergleich zu *Z. minos* (März- Mitte Mai) wahrscheinlich kaum länger als bei jener Art. Die Nachkommen früh fliegender Tiere im Juli sind ab Ende August in Diapause und verbringen so ebenfalls einige Wochen der Vegetationszeit inaktiv. Die Nachkommen der spät im September fliegenden Falter benötigen dann bis mindestens Ende Oktober (Freilandfunde), teils sicher bis weit in den November (Zuchtergebnis), um die Diapause bei den kalten Herbsttemperaturen noch zu erreichen. In manchen Jahren mit frühem Wintereinbruch dürfte zumindest ein Teil eingehen. Die Zeit zum Erreichen der Diapause stellt also nach hinten die zeitliche Begrenzung der möglichen Widderchenflugzeit dar. Einzelne erwachsene Raupen im September und Kokons sowie Falter im Oktober sind neben einer möglichen erst spät im Juli erfolgenden Diapausebeendigung am ehesten dadurch zu erklären, daß einzelne bereits seit Mai in repetitiver Diapause befindliche Raupen diese im Lauf des Sommers auch ohne Überwinterung beenden, wie in der Zucht festgestellt. Dies ist in Südeuropa bei manchen Arten in der Literatur (z.B. NAUMANN et al. 1999) als „fakultative Sommerdiapause“ bekannt. Auf der Alb wie wohl im allergrößten Teil Mitteleuropas ist *Z. filipendulae* stets monovoltin mit obligatorischer erster Diapause.

Eine Übergangsguppe bilden *Z. transalpina hippocrepidis* und *Z. purpuralis*. Bei *Z. purpuralis* beginnen die Raupen bereits im März bis Anfang April zu fressen. Die meisten Nachkommen der resultierenden Falter erreichen die Diapause wiederum von Ende August bis Anfang Oktober und verbringen somit noch gut vier bis sechs Wochen bis zum Winter inaktiv. Von *Z. minos* unterscheidet sich die Art besonders in der langsameren Entwicklung,

die sich auch in einer geringeren Überwinterungsgröße (vgl. 3.7.4; Raupenfunde im März) und vermutlich oft einer zusätzlichen Häutung (meist vier Freßstadien) im Frühjahr äußert. Dies dürfte neben potentiellen physiologischen Gründen auch daran liegen, daß Thymian allgemein weniger Nährstoffe enthält als die Kleine Bibernelle. Besonders ersichtlich ist das im Frühjahr, wenn *Z. minos* bereits ab März frisch austreibende Blätter zur Verfügung stehen, während *Z. purpuralis* zu dieser Zeit bis Mitte oder Ende April fast nur die alten, überwinterten Thymianblätter fressen kann. Die Bibernelle zieht nämlich im Herbst meist vollständig ein, wohingegen der Thymian als Chamaephyt grün überwintert, dafür aber erst spät frische Blätter bildet.

Bei *Z. transalpina* dauert die Aktivitätsphase von April oder Anfang Mai mit der Häutung der meisten Raupen aus der Diapause bis vermutlich in den Oktober oder Anfang November. Bei dieser Art ist wie bei *Z. filipendulae* eine größere Streuung erkennbar. So wurden die Larven in der Zucht von Anfang April bis Mitte Mai wieder aktiv und erwachsene Tiere fanden sich während etwa acht Wochen. Auch die Gesamtflugzeit war mit über zehn Wochen ausgedehnter, so daß ein einzelnes Tier schon nicht mehr die ganze Vegetationsperiode benötigt. Es werden also entweder im Herbst oder im Frühjahr einige, aber weniger als bei *Z. filipendulae*, Wochen der Vegetationszeit inaktiv verbracht. Die Aktivität ist insgesamt wie bei *Z. filipendulae* zumindest bei vielen Raupen nach hinten verlegt. Bei transalpinoiden Populationen außerhalb des Untersuchungsgebietes mit früherer Flugzeit beginnt sie dagegen früher. So fand ich am 11.IV.02 bei einer feuchte Kahlschläge besiedelnden Population bei Memmingen (vgl. 4.3.2; 4.4.1) bereits 15 Raupen (5-7 mm Länge) an *Lotus uliginosus*, von denen die größeren bereits am Ende des vermutlich ersten Stadiums nach der Diapause waren. Der Aktivitätsbeginn ist hier somit auf Ende März bis Anfang oder Mitte April anzusetzen. Interessanterweise hatten alle 15 Raupen der Größe nach zu schließen zum ersten Mal überwintert (vgl. 4.2.1: *Z. filipendulae*).

Vermutlich gehört im Untersuchungsgebiet von den weniger untersuchten Arten zumindest *Z. viciae* zu den Arten, die ähnlich *Z. minos* und *Z. loti* nicht die ganze Vegetationsperiode benötigen, aber relativ synchron und eher zeitig im Jahr (Ende März/Anfang April) mit der Aktivität beginnen. Auch die im Untersuchungsgebiet nicht vorkommende *Z. osterrodensis* ist hier einzuordnen. Die Raupen dieser Art sind nämlich beispielsweise im Steigerwald (Nordbayern) ab Anfang Mai erwachsen (eigene Beobachtungen), müssen also ab März aktiv sein. Die Diapause dürfte nach der Flugzeit im Juni/Juli bereits im August erreicht werden. *Zygaena ephialtes* und die auf der Alb, aber nicht im Untersuchungsgebiet, vorkommende *Z. fausta* könnten dagegen eher ähnlich *Z. carniolica* bei uns einen Großteil der Vegetationszeit für ihre Entwicklung benötigen.

Tabelle 20: Ungefäher Aktivitätsbeginn der Widderchenraupen im Untersuchungsgebiet im Frühjahr (durchschnittliche Witterungsverhältnisse) nach Monaten (A, M, E: Anfang, Mitte, Ende) sowie Beginn der Diapause im Sommer/Herbst nach Zuchtergebnissen und Freilandfunden. In Klammern stehende Angaben sind nur Schätzungen ohne ausreichende Datengrundlage.

	<i>minos</i>	<i>ephaltes</i>	<i>loniceræ</i>	<i>transalpina</i>	<i>carniolica</i>	<i>viciae</i>	<i>loti</i>	<i>purpuralis</i>	<i>filipendulae</i>
Aktivitätsbeginn	III	(IV)	(IV)	IV –E V	E III-M IV	(EIII-M IV)	M III-M IV	A III-A IV	E III – AVI
Maximum	M III	-	-	M IV-A V	A IV	-	(E III)	M III	E IV- V
Diapausebeginn	M VII-M VIII	(IX)	(IX)	IX-X	IX-X	(M VIII-IX)	E VII-M IX	M VIII-A X	A VIII-XI
Maximum	(A VIII)	-	-	(E IX-A X)	E IX-A X	-	M-E VIII	A-M IX	IX-X

#### 4.3.2 Phänologische Folgen der unterschiedlichen Entwicklungszeit

Von dieser Grundlage ausgehend, können Arten, die im Untersuchungsgebiet nicht die ganze Vegetationsperiode benötigen, ihre Flugzeit je nach den genetischen Möglichkeiten (Variabilität) frei vom Zwang der Entwicklungszeit wählen. Das heißt, die Phänologie könnte anderen Selektionsfaktoren folgen, beispielsweise dem Angebot an Nektarressourcen.

Bei *Z. minos* scheint eine Flugzeit vor *Z. purpuralis* vorteilhaft zu sein. Es konnte im Kreuzungsversuch zwar keine Kopula zwischen den Arten direkt beobachtet werden. Eine solche ist aber nicht unwahrscheinlich, da zwei WW in kurzer Zeit größere Eimengen legten, während nicht verpaarte Tiere nur zögernd wenige Eier über einen größeren Zeitraum legen. Selbst wenn es nicht zur Paarung kommen sollte, dürfte durch die identische Zeichnungsanlage und weitere Faktoren bei exakt simultaner Flugzeit zumindest eine den Fortpflanzungserfolg gefährdende „prägame Verwirrung“ gestiftet werden. Ob nun *Z. minos* aber ihre Flugzeit aus diesem Grund irgendwann aktiv nach vorn verlagert hat oder ob nur das zufällige Vorhandensein dieses Merkmals der schnelleren Frühjahrsentwicklung heute die Koexistenz, also syntopes Vorkommen, ermöglicht, ist nicht leicht zu klären. Dazu müßte auch eine Betrachtung der Verhältnisse in anderen Teilen des Verbreitungsgebiets und weiterer nahe verwandter Arten dieses Komplexes aus der Untergattung *Mesembrynus* erfolgen.

Bei *Z. loti* dürften andere Gründe für die frühe Flugzeit vorliegen. Zum einen nutzt sie dadurch heute im Untersuchungsgebiet eine vergleichsweise widderchenarme Zeit. Zum anderen liegt in den oft präferierten Säumen die Blütezeit mit *Knautia arvensis* und *Origanum vulgare* etwas früher als in den mageren Bereichen mit *Scabiosa columbaria*. Anscheinend hat die Art im Untersuchungsgebiet die genetische Variabilität in Bezug auf die Diapause teilweise eingebüßt. Es liegen von hier nur wenige späte Funde frischer Falter (Stürzlesberg: 9. und 17.VIII.01) vor. Diese sind mit einiger Wahrscheinlichkeit auf spät im Mai die Diapause beendende Raupen zurückzuführen. Die teils lange und verschiedene Flugzeit mit gelegentlich zwei Maxima in anderen Teilen Mitteleuropas dürfte dagegen durch teils erst spät die Diapause beendende Larven bedingt sein, ermöglicht durch kürzere Entwicklungszeit als der Vegetationsperiode. Möglicherweise spielen auch vorzeitig sich aus repetitiver Diapause weiterentwickelnde Larven eine Rolle.

*Zygaena purpuralis* verhält sich im Untersuchungsgebiet ähnlich wie *Z. minos*, wenn auch abgeschwächt durch die längere Entwicklungszeit. In anderen, wärmeren Gebieten wie am Kaiserstuhl dürften die Raupen im Freiland bereits Ende Februar wieder aktiv werden. Hier sind sie Ende April und Anfang Mai erwachsen, also sechs Wochen vor denen im Untersuchungsgebiet. Möglicherweise liegen dort zudem andere, ältere Überwinterungsstadien vor, was aber vor Ort untersucht werden muß.

*Zygaena filipendulae* wiederum wird wohl besonders durch den größeren Blütenreichtum an den bevorzugten, *Lotus*-reichen, mageren Flächen im August zu einer Verlagerung der Flugzeit nach hinten durch späteren Aktivitätsbeginn im Frühjahr veranlaßt. Die starke, genetisch bedingte Variabilität im Aktivitätsbeginn, verbunden mit anscheinend früher aktiven repetitiven Überwinterern, führt zu einer ausgedehnten Flugzeit bis an die maximale Grenze Ende September/Anfang Oktober, die für eine Auslese durch Ausmerzung der wegen des Wintereinbruchs Ende Oktober oder im November die Diapause nicht mehr erreichenden Larven maßgeblich sein dürfte. Diese Variabilität ist wohl gleichfalls für die unterschiedliche Flugzeit in anderen Teilen Mitteleuropas hauptverantwortlich. Ausgehend von anderen Blühphänologien oder weiteren Selektionsfaktoren und einer teils noch längeren Vegetationsperiode (Oberrhein) kann der Entwicklungszyklus prinzipiell anders oder noch variabler sein als im

Untersuchungsgebiet. Als Erklärung für die Zweigipfligkeit der Flugzeit in warmen Gebieten wie dem Oberrhein ist die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, daß früh aktiv werdende Larven hier noch deutlich zeitiger als im Untersuchungsgebiet fliegende Falter ergeben können, während spät erwachende von der in solchen Warmgebieten früher beginnenden Vegetationsperiode nicht profitieren können. Es liegt hier also unter Umständen ein durch die lange Vegetationsperiode und ausgedehntere Blütezeiten ermöglichter Entzerrungseffekt vor, wie er sich im Untersuchungsgebiet zwischen frühen und späten Arten in Jahren mit besonders warmem Frühjahr zeigte (Abb. 23 unter 4.2.1).

Würde der Großteil der Raupen im Untersuchungsgebiet nämlich wie die von *Z. carniolica* an der gleichen Nahrungspflanze bereits im März oder Anfang April aktiv, läge bei der schnelleren Entwicklungszeit von *Z. filipendulae* deren Flugzeit um etwa fünf Wochen früher um Mitte Juni bis Juli, also zu einer Zeit, die für manche Populationen Mitteleuropas üblich ist. In einer solchen Population (Ludenhofen/Ammersee; vgl. 4.2.1) wurden nach eigenen Beobachtungen die Larven tatsächlich bereits Ende März aktiv. Als Nektarquelle ist in diesem Gebiet hauptsächlich *Knautia arvensis* vorhanden, daneben eventuell noch *Betonica officinalis* und *C. jacea*. Alle drei Arten, besonders aber erstere beiden, blühen in Feuchtgebieten eher früh von Juni bis Anfang August.

Ganz anders scheint die ebenfalls nicht die gesamte Vegetationsperiode benötigende Grünzygaene *Adscita geryon* ihre Flugzeit zu verzögern. Die Raupen sind Ende April bis Anfang Mai erwachsen, der Falter fliegt aber erst im Juli. Hier könnte die beobachtete Verzögerung zwischen erwachsener Larve und Verpuppung von etwa zwei bis drei Wochen ursächlich sein, die bei den Rotwidderchen mit nur vierwöchigem Versatz zwischen ausgewachsenen Raupen und beginnender Flugzeit nicht gegeben ist.

Die langsamere Entwicklung von *Z. carniolica* dürfte teils auf den größeren Wärmebedarf ihres Enzymsystems wegen südlicher Herkunft und die langsamere Entwicklung im kühlen April zurückzuführen sein, was noch nachzuprüfen wäre. So starten die Raupen im insgesamt kühleren Frühjahr mit durchschnittlich vier bis sechs Wochen Vorsprung vor *Z. filipendulae*, während bei den erwachsenen Raupen im Juni nur maximal zwei bis vier Wochen übrig bleiben. Diesen Restvorsprung scheint dann noch eine etwas längere Kokonphase bei *Z. carniolica* weiter zu reduzieren.

Eine Mischung aus längerer Entwicklungszeit und einer Verlagerung der Aktivität nach hinten liegt bei *Z. transalpina hippocrepidis* vor. Auch hier ermöglicht die Variabilität im Entwicklungsbeginn – neben einer bei allen Arten mehr oder weniger vorhandenen individuellen Variabilität in der Entwicklungsgeschwindigkeit – eine ausgedehnte Flugzeit. Die Grenze im Herbst ist aber etwa 14 Tage früher als bei *Z. filipendulae*, um Mitte September, erreicht. Gleichzeitig liegt der Aktivitätsbeginn im Frühjahr mit April bis Mitte Mai etwas früher. Bei dem vor allem in den Alpen verbreiteten transalpinoiden Stamm ist vermutlich sowohl die Entwicklungszeit vergleichsweise kürzer als auch der Aktivitätsbeginn relativ früher (vgl. 4.3.1), so daß eine frühere Flugzeit erreicht wird. Bei einer Population bei Memmingen lag diese trotz wesentlich kühlerem Mikroklima 2001 von Ende Juni bis spätestens Anfang August. Mit Abstand die wichtigste Nektarquelle war hier *Cirsium palustre* (eigene Beobachtung), welche von Mitte Juni bis Anfang/Mitte August blühte.

Insgesamt ist die Flugzeit von Arten, die im Frühjahr zeitig und stärker synchron die Diapause beenden, insgesamt kompakter als bei Arten mit variablem und teils verschobenem Aktivitätsbeginn. So lag die Gesamtflugzeit von *Z. minos*, *Z. purpuralis* oder *Z. carniolica* in einem Jahr im Untersuchungsgebiet bei insgesamt maximal sechs bis acht Wochen, während *Z. transalpina* bis zu 10 und *Z. filipendulae* bis über 13 Wochen flog.

Schließlich bleibt festzuhalten, daß der Mechanismus der unterschiedlichen Entwicklungszeit im Vergleich zur Vegetationszeit eine Schlüsselrolle bei den Möglichkeiten zur zeitlichen Verteilung der (besser untersuchten) Widderchenarten im Untersuchungsgebiet spielt. In anderen Regionen dürfte diesem ebenfalls eine große Rolle zukommen, wenn auch hier weitere theoretisch mögliche Faktoren wie andere Hauptüberwinterungsstadien oder wechselnder Anteil mehrjähriger Raupen in Betracht gezogen und vor Ort überprüft werden muß. Dadurch ist auch eine lokale Anpassung von Arten wie *Z. filipendulae* und *Z. loti* an Mahdrhythmen denkbar, wie in der Literatur oft erwähnt (beispielsweise AISTLEITNER 1998).

Wie kommt aber die unterschiedliche Terminierung der Diapause im Frühjahr zustande? Die wahrscheinlichste Erklärung hierzu sieht folgendermaßen aus: Raupen, die früh in Diapause gehen, haben im Spätwinter bereits längere Zeit in Diapause verbracht als solche, die diese erst im September oder noch später erreichen. Nun kann die Diapause nach WIPKING (1995) bei der untersuchten *Z. trifolii* in die Teile DEP (diapause ending process), Quieszenz und PDD (post-diapause development) geschieden werden. Mit der Häutung in das Dormanzstadium beginnt die DEP, die dann kontinuierlich, also nach bestimmter Zeit, und nach Durchlaufen gewisser Voraussetzungen, beispielsweise Frosterlebnisse, zur Aufhebung der physiologischen Entwicklungssperre führt. In der Quieszenz hängt es dann nur noch von der Temperatur ab, ob die PDD beginnen kann, die zur Häutung aus dem Diapausestadium führt. Das bedeutet, daß früh im Jahr unter Langtagbedingungen in Diapause gegangene Raupen im nächsten Frühjahr eher in die Quieszenz gelangen dürften und so bereits früher die besonders durch die hängige Lage verstärkte Sonnenwärme zur PDD ausnutzen können. Im Umkehrschluß sind also überwinterte *Z. filipendulae*-Raupen eventuell noch im April in der DEP. Ein Indiz dafür ist die Tatsache, daß bereits im April oder Anfang Mai gefundene aktive Raupen dieser Art meist durch die Größe nach der Diapausehäutung mit großer Wahrscheinlichkeit den repetitiven Überwinterern zugeordnet werden können. Diese sind ja allgemein bereits seit Mai oder Juni des Vorjahres in Diapause. Auch bei früh fliegenden Populationen, etwa am Alpenrand, sind die Raupen vermutlich bereits zeitiger in Diapause und können deshalb im Frühjahr diese eventuell eher beenden. Zusätzlich sind genetisch fixierte Unterschiede in der Dauer der DEP zwischen Arten und auch einzelnen Populationen in verschiedenen Lebensräumen und Regionen sehr wahrscheinlich.

Weiterhin interessant ist, daß nach WIPKING (1995) eine langsame Entwicklungsgeschwindigkeit vor der Diapause zu jüngeren Dormanzstadien bei *Z. trifolii* führte. Im Juli und August in vorliegender Arbeit gezüchtete *Z. filipendulae* überwinterten meist als L4<sub>D</sub> (vgl. 3.7.1), während von Eiern Mitte September abstammende Tiere nach langsamer Entwicklung bei kühler Temperatur im Oktober und November als L2<sub>D</sub> in Diapause gingen. Ähnliches ließ sich bei *Z. minos* (Entwicklung der Junglarven im Juli) und *Z. purpuralis* (August/September) feststellen.

Der gesamte Themenkomplex um die Umstände der Dormanz bedarf aber noch wesentlich ausführlicheren Untersuchungen in verschiedenen Regionen Mitteleuropas, um die hier vorgestellten Hypothesen zu verifizieren.

#### **4.3.3 Auswirkungen der Entwicklungszeit auf die räumliche Verteilung**

Die notwendige Dauer der Entwicklung hat auch Auswirkungen auf die Biotopbindung, also räumliche Verteilung der Widderchen. Arten, die im Untersuchungsgebiet einen Leerlauf, also in Dormanz ungenutzte Zeit, während der Vegetationsperiode aufweisen, sind zumindest von dem Faktor Entwicklungszeit her nicht ausschließlich auf xerotherme Südhänge angewiesen, da sie ihren Entwicklungsablauf auch unter kühleren Gesamtbedingungen abschließen können. So sind *Z. loti*, *Z. viciae*, *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* an West- und Nordwest-

hängen anzutreffen. Auch außerhalb des Untersuchungsgebietes weisen sie eine relativ große Standortsamplitude auf, was etwa Feuchtgebiete oder Hochlagen der Gebirge anbetrifft. Neben einer sicherlich in gewissem – aber wohl teils überschätztem – Umfang vorhandenen physiologischen Trockenheits- und/oder Wärmebindung (Eiablagerrate in Korrelation mit der Insolation) wird deren Verbreitung hauptsächlich vom Vorkommen der Raupennahrungspflanze unter mechanisch (Nutzung, Pflege) für die Entwicklung verträglichen Rahmenbedingungen und der Verfügbarkeit von Nektarquellen bestimmt.

*Zygaena carniolica* mit ihrer langen notwendigen Entwicklungszeit zeigt im Untersuchungsgebiet eine starke Bindung individuenreicher Populationen an mikroklimatisch begünstigte Standorte, etwa an felsig-steinige Südhänge. Nur hier kann wohl im langjährigen Mittel eine ausreichende Entwicklungszeit gewährleistet werden. Diese Feststellung wird unterstützt von den Ergebnissen von SMOLIS & GERKEN (1987), die in Nordrhein-Westfalen (Oberes Weserbergland), also an der nordwestlichen Arealperipherie von *Z. carniolica*, unter anderem das Vorkommen von Widderchen auf verschiedenen Probeflächen eines Kalkmagerasens untersuchten. Dabei fehlte die Art nur an einer zwar mager-lückigen, aber WNW-exponierten Probefläche, während die übrigen, SW-geneigten Flächen besiedelt waren, und zwar mit Schwerpunkt im offenen, mageren Bereich. *Zygaena purpuralis* hingegen war in ersterer Fläche gut vertreten.

*Z. minos* ist die einzige Art, die trotz vergleichsweise deutlich kürzerer Entwicklungszeit als der Vegetationsperiode ebenfalls eine starke Bindung an Biotope mit sehr xerothermem Mikroklima aufweist. In diesem Falle dürfte hierfür die Notwendigkeit verantwortlich sein, vor *Z. purpuralis* zu fliegen. Die frühe Aktivität der Raupen im Untersuchungsgebiet ist nur an warmen, geneigten Stellen denkbar, die durch Verstärkung der Sonneneinstrahlung einen sehr zeitigen Austrieb der Nahrungspflanze ermöglichen.

Die Mindestentwicklungszeit ist zumindest im Untersuchungsgebiet somit ein wesentlicher Faktor zur Begrenzung des Vorkommens der Arten. Weitere Faktoren treten hinzu und schränken die Verbreitung noch weiter ein, wie vermutlich die Interaktion mit *Z. purpuralis* bei *Z. minos*, das Vorkommen der Raupennahrungspflanze oder unverträgliche Bewirtschaftungsmaßnahmen.

## 4.4 Dichteregulatoren

### 4.4.1 Nektar- und Raupennahrungspflanzen

Das Vorkommen der Raupennahrungspflanzen spielt verständlicherweise die wichtigste Rolle unter den Voraussetzungen für ein häufiges Auftreten der Widderchen. Die Arten sind in Vorkommen und besonders Abundanz deutlich positiv mit der Fraßpflanze korreliert. Eine Limitierung durch die Ressource Nektarpflanzen ist ebenfalls erkennbar. In blütenärmeren Gebieten sind keine individuenreichen Populationen möglich und die Gesamtwidderchenphänologie ist stark positiv mit der entsprechenden Blüten korreliert.

Individuenreiche Faltervorkommen sind nur bei großer Abundanz der jeweiligen Raupennahrungspflanzen möglich. Bei *Z. transalpina* und *Z. ephialtes* wurden begrenzte Fraßpflanzenreserven sogar als die wichtigsten limitierenden Faktoren der Verbreitung überhaupt erkannt. So fehlte beispielsweise *Z. transalpina* im Lindletal völlig, weil hier auch *Hippocrepis* ziemlich selten war. Wo *Thymus* sp. nur sehr vereinzelt vorkam wie am Kunigundenbühl, konnte auch keine starke Population von *Z. purpuralis* erwartet werden. Wenn aber andere

Bedingungen nicht erfüllt waren, fehlten die entsprechenden Arten auch bei großem Angebot an Raupennahrung. An der Schäfhalde fanden sich große Bestände an *Lotus corniculatus*, *Z. carniolica* fehlte aber trotzdem wohl wegen des ungeeigneten Mikroklimas. Ähnlich verhält es sich mit *Z. transalpina* und *Hippocrepis* bei Anhausen.

Die Nektarpflanzen waren zur Flugzeit im Untersuchungsgebiet oft sehr häufig vorhanden, so daß ihnen eine etwas geringere Rolle als limitierender Faktor zukommen dürfte. Sie erlangen besonders dann eine größere Bedeutung, wenn von den sonstigen Faktoren her mehrere synphäre Arten in individuenreichen Populationen vorkommen könnten, in Jahren mit sehr hoher Populationsdichte einer Art oder zu Beginn der Gesamtflugzeit der Widderchen im Juni (*Z. minos*!). Als Ursache für die phänologische Konzentration der Widderchen im Untersuchungsgebiet im Juli und August sind die Nektarpflanzen an erster Stelle zu nennen. In Gebieten mit anderer Blühphänologie wie im Juni/Juli im bayerischen Alpenvorland (eigene Beobachtungen) oder im Kaiserstuhl (z.B. HOFMANN 1994; *Z. filipendulae*) folgt die Widderchen-Gesamtflugzeit dieser anscheinend ebenfalls. Die im Vergleich zu den hippocrepidoiden Populationen des Untersuchungsgebiets um einen Monat früher fliegende transalpine Population von *Z. transalpina* bei Memmingen im Alpenvorland war in ihrer Phänologie stark an die Blüte von *Cirsium palustre* angepaßt (WAGNER 2002). Anfang bis Mitte August, wenn auf der Schwäbischen Alb die höchsten Individuenzahlen notiert wurden, waren Falter und Blütenpflanzen auf den bei Memmingen besiedelten Kahlschlägen bereits stark zurückgegangen.

Die Beobachtung, daß manche Arten bei in gewissen Jahren sehr häufigem Vorkommen auch nicht widderchentypische Pflanzenarten nutzen, kann wohl bereits als Manifestierung des limitierenden Faktors Nektarpflanzen interpretiert werden. Die durch andere günstige Faktorkonstellationen wie geringe Parasitierung und zuträgliche Witterung stark angestiegene Populationsdichte ist dann bereits höher als es die Ressource Nektarpflanze langfristig erlauben würde. Beispiele lassen sich 1999 bei *Z. filipendulae* an der eher blütenarmen Arphalde anführen, wo etwa *Plantago media* besucht wurde oder 1998 bei *Z. loti* am Moldenberg (ebenfalls *P. media*). Auch im blütenarmen südlichen Teil der Plateauheide im Norden des Steinbruchs an der Hirschhalde waren 1999 *Z. loti* bei größerer Populationsdichte an Pflanzen wie *Helianthemum nummularium* und *Veronica chamaedrys* verhältnismäßig häufig zu beobachten. Solche als suboptimal zu charakterisierende Arten werden bei ausreichendem Vorhandensein „widderchentypischer“ Pflanzen völlig gemieden. Auch bei anderen Arten ließen sich hierzu Beispiele finden, so bei *Z. purpuralis* 2001 am Ramenstein (*Pimpinella saxifraga*, *Daucus carota*). In allen bisher im Folgejahr untersuchten Fällen waren die Populationen dann teils sehr deutlich individuen schwächer. Die Nutzung atypischer Arten ist somit ein Zeichen für eine im Verhältnis zum Nektarpflanzenangebot zu hohe Populationsdichte. Vermutlich auch durch geringeren Reproduktionserfolg infolge der suboptimalen Ernährung gehen die Individuenzahlen dann in der Folge zurück, wobei aber Überlagerungen mit Faktoren wie Parasitierung derart stark sein dürften, daß keine absolute Bedeutung des Nektarpflanzenmangels angegeben werden kann.

Nachdem das Grünwidderchen *Adscita geryon* mit ihrem Flugzeit-Höhepunkt Mitte Juli zu einer blütenreichen Zeit aktiv war, sie in den allermeisten Habitaten (außer Benzenberg und Kelzberg) kaum sehr hohe Abundanzen (mehr als 10 Tiere/Hektar) erreichte und nicht zuletzt aufgrund ihrer viel geringeren Größe weniger Nektar verbrauchen dürfte, ist eine bedeutendere Konkurrenzsituation zu den Rotwidderchenarten relativ unwahrscheinlich. An vielen ihrer in größerer Zahl besiedelten Fundorte wie in der Lonetal-Flächenalb waren zudem früher fliegende *Zygaena*-Arten habitatbedingt eher selten, so daß *A. geryon* hier eine zwar blütenreiche, aber relativ widderchenarme Zeit nutzen konnte.

Die festgestellten Blütenpräferenzen spiegeln das Angebot wider. So sind die Arten innerhalb der widderchentypischen Pflanzen, nicht aber atypische Arten, problemlos austauschbar. Die Skabiose ist deswegen die wichtigste Art, weil sie gewöhnlich in großer Menge vorkommt. Dazu decken sich ihre Lebensraumansprüche, nämlich aufgrund ihrer Lichtbedürftigkeit (bodennahe „Blattrosette“, keine vegetative Vermehrung mittels Ausläufern) die Bedingung eines mageren, teils lückigen Standorts, mit denen vieler Widderchen außer *Z. viciae* und *Z. lonicerae*. Wäre an ihrer Stelle etwa *Centaurea jacea* häufiger, wäre diese Pflanze vermutlich auch die meistbesuchte. Bei Oberkochen (Heide S Unterer Rotstein) beispielsweise lebt eine starke *Z. transalpina*-Population fast ausschließlich an *C. jacea* (eigene Beobachtungen 2001), da *Scabiosa columbaria* hier selten ist.

Eine interessante Frage ist die Steuerung der eher späten Blühphänologie im Untersuchungsgebiet. Die Skabiose scheint an den trockensten und magersten Stellen im Schnitt später zu blühen als an etwas mesophileren. So war beispielsweise an Mühlhalde, Bläßhalde oder der nördlichen Plateauheide im Steinbruch Hirschhalde die Hauptblütezeit im Juli etwa drei Wochen früher als am südlichen Wartberg. Gerade von diesen mesophileren Gebieten sind auch die frühesten Funde Ende Juni von *Z. filipendulae* zu vermelden, die als Anpassung an die frühere Blüte gedeutet werden müssen. Es fällt außerdem auf, daß Gebiete wie Stürzlesberg, Mühlhalde oder Bläßhalde insgesamt eine mit der etwas früheren Blühphänologie korrelierende Widderchenphänologie aufwiesen.

Gänzlich anders noch als in diesen Gebieten stellte sich die Blüte der Skabiose im Langen Feld dar. Das um etwa fünf Wochen frühere Maximum Mitte Juni und Anfang Juli (Abundanzstufe 3) dürfte in Zusammenhang mit der besseren Wasserversorgung auf dem in der Brenzaue gelegenen, ehemaligen Niedermoor zusammenhängen. Auch die allerdings seltener vertretene *Centaurea jacea* blühte hier bereits ab Ende Juni. Leider war *Z. filipendulae* aufgrund der geringen Dichte der Raupennährpflanze *Lotus corniculatus* dort selten, so daß etwaige Auswirkungen einer Anpassung an diese Blühphänologie nicht erkennbar werden können. Interessanterweise blühte auch eine andere, allerdings nicht als Saugpflanze relevante Art, nämlich *Pimpinella saxifraga* hier um gut fünf Wochen früher als an Trockenhängen, nämlich im Juni bis Anfang Juli. Ob allein Feuchtigkeitsunterschiede ausschlaggebend sind oder ob eine Besiedelung durch unterschiedliche Genotypen unter den Pflanzen vorliegt, muß offenbleiben. Letztere Variante ist nicht ganz unwahrscheinlich. So existieren am benachbarten Irpfl *Thymus*-Rassen, die bereits im Mai zu blühen beginnen, während alle anderen Fundorte einen um ein bis zwei Monate späteren Blühbeginn des Thymian aufweisen. Jedenfalls zeigen Feuchtstandorte in anderen Gebieten (Alpenvorland) oft ebenfalls eine etwas frühere Blühphänologie von Juni bis Anfang August, gefolgt von einer entsprechenden Widderchenabundanz aus *Z. viciae*, *Z. trifolii* und *Z. filipendulae*.

#### 4.4.2 Biotopfaktoren

Am wichtigsten ist die absolute Fläche an für die jeweilige Art wegen ihrer Entwicklungsstrategie geeignetem Larvalhabitat. Das heißt, daß hier die limitierenden Biotopfaktoren in einer für die jeweilige Art ausreichend zuträglichen Kombination erfüllt sind. Wenn die übrigen Faktoren wie Witterung, Parasitierung und Nektarpflanzen es zulassen, kann von einer mehr oder weniger linearen Abhängigkeit der Individuenzahlen einer Art von der verfügbaren „optimalen“ Biotopfläche ausgegangen werden (vgl. *Z. minos* im Steinenfeld vs. Ramenstein)

So trat *Z. carniolica* individuenreich nur an südexponierten, mageren Hängen auf, wo ihr weitgehend die ganze hier längere Vegetationszeit in Anspruch nehmender Entwicklungs-

zyklus abgeschlossen werden konnte. *Zygaena minos* war bei Gerstetten (Steinenfeld) vermutlich nur deshalb so häufig, weil die ihr zusagenden Bedingungen gegeben sind, nämlich ein sehr xerothermer, moosreicher Südhang in Verbindung mit vereinzelt stärker vertikal strukturierten Bereichen und ausreichenden *Pimpinella saxifraga*-Beständen. Nur an solchen Stellen kann die Art bereits im März aktiv sein, wie es für ihre frühe Flugzeit vor *Z. purpuralis* notwendig zu sein scheint. Bei vielen anderen Fundorten wie stellenweise im Lindletal (Reibertal, Geißkanzel) ist der Anteil an Optimalhabitat viel geringer. Bei nur kleinflächig geeignetem Larvalhabitat sind nur individuen schwache Populationen möglich, wie im Untersuchungsgebiet allgemein bei *Z. lonicerae* und *Z. ephialtes*. Ab einer bestimmten Grenze können sich die Arten nicht mehr erfolgreich reproduzieren, das heißt die Individuenzahl ist zu gering, um auch in wegen anderer Faktoren zusätzlich ungünstigen Jahren noch eine positive Bilanz zu erreichen. Das Aussterberisiko ist dann größer als die Wahrscheinlichkeit einer Neubesiedelung, so daß die Arten den meisten Gebieten mit für sie zu kleinflächigem Anteil an geeignetem Larvalhabitat fehlen wie beispielsweise *Z. minos* bei Mergelstetten. Nur wenn direkt benachbart Populationen an geeigneteren Stellen siedeln, die als Source-Populationen fungieren können, ist ein zumindest jährweises Vorkommen möglich (SETTELE et al. 1999) wie an Geißkanzel und Reibertal bei *Z. minos*.

Widderchen kommen dabei aber mit relativ kleinen Flächen aus, wenn man dies beispielsweise mit dem Flächenbedarf mancher Tagfalter (*Chazara briseis*, *Carcharodus alceae*) vergleicht. Ursache hierfür dürfte neben der teils noch effizienteren Fortpflanzungsstrategie (vgl. 3.9) und der relativen Ortstreue besonders die Rückversicherung gegen sehr schlechte Jahre infolge partieller Mehrjährigkeit sein.

Bei den Biotopfaktoren ist hervorzuheben, daß die Widderchen reine Rohböden, offene, feinerdereiche Stellen sowie auch verdichtete, tritrasenartige Bestände weitgehend mieden, sofern sie nicht ausreichend mit moosigen oder steinig-grasigen Bereichen durchsetzt waren. Obwohl beispielsweise am Moldenberg in dem ebenen, großflächigen Rohbodenbereich westlich der großen Steilwand Raupennahrungspflanzen wie *Lotus corniculatus* häufig vorkamen, konnte hier nicht eine Widderchenraupe gefunden werden. Lycaeniden waren dagegen häufig gerade an solchen Stellen zahlreich vertreten. Die Raupen vieler Arten, insbesondere von *Z. minos*, *Z. carniolica* und *Z. filipendulae*, waren am häufigsten in mageren und sehr moosreichen Beständen. Anscheinend wird das Moos beziehungsweise auch dichtere Grashorste oder damit verbundene Steinlückensysteme als Überwinterungssubstrat oder Tagesversteck der Jungraupe benötigt.

Waldnähe ist zwar für das Vorkommen einiger Arten förderlich, besonders wohl wegen meist gut ausgebildeter Saumbereiche oder klimatischer Einflüsse. Eine notwendige Biotopvoraussetzung stellt der Wald aber nur selten dar, da sich für alle Arten außer *Z. lonicerae* Beispiele starker waldferner Populationen finden lassen. Es kommt hier also nur auf die Ausstattung des unmittelbaren Biotops an und weniger auf die Umgebung. Der Gehölzanteil spielt ebenfalls nur indirekt insofern eine Rolle, als daß um die Sräucher meist besser entwickelte Säume vorhanden sind. Die einzige Art, die sich im Untersuchungsgebiet bevorzugt in etwas verbuschten Bereichen entwickelte, ist *Z. lonicerae*. Eine zu intensive Verbuschung geht aber bei vielen Arten auf Kosten der als Larval- und Imaginalhabitat geeigneten Fläche, wirkt sich also negativ auf die Abundanz aus.

Beweidung kann einerseits direkt die Nahrungsgrundlage beeinträchtigen, so durch Verbiß von *Coronilla varia* bei *Z. ephialtes*. Zum anderen wird hierdurch längerfristig der Anteil an stärker vertikal strukturierten Säumen und mageren Bereichen beeinflußt. Schließlich kommt es bei der Beweidung auch zu direkter Tötung von Individuen durch Zertrampeln oder gelegentlich versehentliches Verschlucken. Beweidungsaufgabe führt aber langfristig zu starken Biotopveränderungen durch Verlust an magerer, xerothermer Fläche (WEIDEMANN 1995).

Neigung, Exposition und Gesteinsanteil sind schließlich für das Mikroklima verantwortlich. Je stärker die Hangneigung bei Südexposition, desto stärker erwärmt sich der Boden bereits ab Februar bei Sonnenschein, was für die frühe Aktivität mancher Arten unerlässlich ist.

#### 4.4.3 Witterung

Die Witterung dürfte einen großen direkten (Todesrate) und indirekten Einfluß auf die Widderchenabundanz ausüben (SETTELE et al. 1999, WEIDEMANN 1996). In der Imaginalphase hängt der Reproduktionserfolg von sonnigem Wetter ab und in der Larvalzeit ist die witterungsabhängige Entwicklungsgeschwindigkeit wesentlich für die kritische Phase der Prädation und Parasitierung. Absolute Anteile der Witterung an den limitierenden Faktoren sind aber großen Schwankungen unterworfen und können in ihrer Interferenz mit den übrigen Mechanismen kaum quantifiziert werden.

Vermutlich starken Einfluß hat die Witterung während der Imaginalphase. Durch die sehr schlechte Witterung im Juli 2000 wurde mit Sicherheit der Reproduktionserfolg der Widderchen geschmälert. Die Tiere konnten weniger Nektar aufnehmen, was die Nachreifung von Eiern verringert haben dürfte. Weiterhin verhinderte das Wetter zeitweise Kopulation und Eiablage. Schließlich sind die teils sehr starken Platzregen zu dieser Zeit auch für das vorzeitige Absterben eines Teils der Imagines verantwortlich zu machen, indem sie beispielsweise von ihren Sitzwarten auf den Boden gespült wurden und hier auch durch verstärkte Prädation umkamen. Arten, die um diese Zeit ihren Flugzeitschwerpunkt hatten wie *Z. loti*, *Z. ephialtes* und *Z. viciae*, waren dann im Folgejahr an vielen Fundorten seltener. Weiterhin war das abrupte Flugzeitende von *Z. minos* Anfang Juli 2000 wahrscheinlich auf die Schlechtwetterphase zurückzuführen. Allerdings wurde diese Entwicklung sicher durch andere Faktoren, etwa Parasitoide, beeinflusst. Andererseits können aber auch sehr heiße und trockene Phasen im Hochsommer wie beispielsweise 2001 in bestimmten Biotopen wie der Rappeshalde zu einer Verkürzung der Lebensspanne aufgrund von Flüssigkeitsmangel und damit Verringerung des Reproduktionserfolges führen.

Die Frühjahrswitterung wiederum ist besonders für die Arten relevant, deren Aktivität bereits begonnen hat. Hier führt ein kaltes, nasses Frühjahr zu einer verzögerten Entwicklung der frühen Arten, was dann zu einer verlängerten Exposition den Prädatoren und Parasitoiden gegenüber sowie zu einer verstärkten Überschneidung mit den späten Arten führt (2001). Nachdem die Raupen mancher Arten bereits im März aktiv werden, dürften auch Wintereinbrüche, die um diese Zeit durchaus auch mit Temperaturen von unter  $-10^{\circ}$  Celsius einhergehen können, zu Verlusten führen. Außerhalb der Diapause weisen die Larven der Rotwidderchen nämlich eine stark verringerte Kälteresistenz auf (WIPKING 1988, 1995). Im Herbst ist ein früher Wintereinbruch im Oktober für die Raupen von *Z. filipendulae* und *Z. transalpina* von Bedeutung, die dann zum Teil die Diapausehäutung nicht mehr erreichen dürften.

Ein ideales Widderchenjahr zeichnet sich somit durch ein warmes Frühjahr und einen sonnigen Sommer ohne längere Schlechtwetterphasen, aber auch ohne extreme Trockenheit aus. Zudem sollte der Wintereinbruch spät erfolgen. Inwieweit die Winterwitterung die Überlebensrate der sich in Dormanz befindlichen Tiere beeinflusst, bleibt noch zu untersuchen. Vermutlich sind aber sehr feuchte, milde Winter wie teils 2000/2001 eher ungünstig wegen erhöhter Verschimmelungsgefahr der bodennah in Moos und abgestorbener Vegetation überwinternden Larven.

Einflüsse der diskutierten anthropogenen Klimaerwärmung könnten sich in einem immer früheren Aktivitätsbeginn der Larven im Frühjahr manifestieren. Larven von *Z. car-*

*niolica* wurden 2002 bereits am 23.III. nach etwa 10 Tagen mit Temperaturen von bis zu 20° Celsius tagsüber gefunden. Im Jahr zuvor wurden Tiere von ähnlicher Größe erst ab Mitte April registriert. Auf die Funde von *Z. purpuralis* und *Z. minos* (10. und 13.III.02) hat dies keinen Einfluß gehabt, da die Witterung zu dieser Zeit noch deutlich kühler war (um etwa 10° Celsius). Langfristig wären auch Auswirkungen auf das Spektrum der besiedelbaren Habitate (Exposition) und die Gesamtverbreitung nicht auszuschließen, besonders bei *Z. carniolica*.

#### 4.4.4 Prädatoren und Parasitoide

Während die Prädation nicht als entscheidender Faktor für eine Limitierung der Abundanz angesehen werden kann, kommt der Parasitierung neben der verfügbaren Fläche an jeweiligem Optimalhabitat die wohl bei weitem größte Rolle zu.

Rotwidderchen sind vor Vertebraten unter den Prädatoren anscheinend weitgehend durch Blausäure freisetzende Inhaltsstoffe geschützt (HOFMANN 1994, NAUMANN et al. 1999). Bei Arthropoden ist dieser Schutz allerdings nur teilweise vorhanden. Ameisen sollen durch die Cyanoglucoside ebenfalls abgewehrt werden. Nach den eigenen, stichprobenartig durchgeführten Versuchen, gilt dies nur eingeschränkt. Während Larven von *Z. minos* und *Z. purpuralis* von Ameisen der Gattung *Formica* verschont wurden, wurden Raupen von *Z. viciae* ohne erkennbare Abschreckung erbeutet. Auch die Beobachtung einer *Formica*-Arbeiterin mit Teilen einer Raupe von *Z. filipendulae* am Erbisberg zeigt, daß kein vollständiger Schutz vorliegt, wenn auch in diesem Fall eine Tötung der Raupe durch die Ameise nicht direkt nachgewiesen ist. Es scheinen artspezifische Unterschiede vorzuliegen, die vielleicht mit der Lebensweise der Raupen zusammenhängen. So sind bodenlebende Arten wie *Z. minos* wesentlich häufiger Ameisen ausgesetzt als gewöhnlich etwas erhöht in der Futterpflanze ruhende. Weiter dürfte auch die Artzugehörigkeit der Ameise eine große Rolle spielen. Große, aggressive Arten aus der Gattung *Formica* sind wohl eher in der Lage, schwächer geschützte Widderchenlarven zu erbeuten als kleine Arten wie etwa *Tetramorium* sp. oder auch *Myrmica* sp.

Weitere Prädatoren unter den Arthropoden sind unter den Heteroptera und Araneae zu finden. Während Wanzen gelegentlich Raupen erbeuten, sind die Spinnen den Faltern gefährlich. Nach eigenen Beobachtungen können Radnetzspinnen in gut mit Faltern besetzten Biotopen durchaus auch größere Mengen an Widderchen fangen.

Insgesamt dürfte der Einfluß der Prädatoren aber kaum dichteregulierend auf die Widderchen wirken, da keine spezifischen Freißeinde vorkommen und nur eine der Populationsdichte äquivalente Individuenzahl erbeutet wird.

Wesentlich größer ist hingegen der Einfluß der Parasitoide einzustufen (DEMPSTER 1983; SETTELE et al. 1999). Nach den Beobachtungen an *Z. transalpina* und *Z. filipendulae*, kann schon allein eine Art, nämlich die Chalcidide *Brachymeria intermedia*, den Zusammenbruch starker Populationen hervorrufen. Rechnet man noch die zahlreichen anderen, aber im Freiland schwerer quantitativ zu erfassenden Parasitoiden hinzu, wird sehr deutlich, daß diese die wohl größte Bedeutung bei Abundanzschwankungen aufweisen. So brach die *Z. filipendulae*-Population im Gebiet Hetzenäcker von 2000 auf 2001 hauptsächlich deshalb stark ein. Am Benzenberg war dieselbe Widderchenart 2000 ebenfalls sehr häufig, Kokons mit „*Brachymeria*-Löchern“ beobachtete ich aber noch eher selten. 2001 konnten dann noch zahlreiche Raupen festgestellt werden, die Falter waren aber bereits etwas seltener als im Vorjahr (vgl. 3.4.2). Dafür waren die von *Brachymeria* parasitierten Kokons 2001 sehr häufig (vgl. 3.11), so daß für 2002 mit einer starken Abnahme des Bestandes zu rechnen ist. Ähnliches spielte sich von 1999 bis 2001 auch am südlichen Wartberg ab. Besonders 2000

und 2001 waren viele Raupen parasitiert (häufig Braconidae), so daß der starke Falterrückgang (vgl. 3.4.1) damit in Verbindung gebracht werden muß. Fast parallel dazu verlief die Entwicklung bei *Z. transalpina*. Hier wurde am südlichen Wartberg 2000 das Faltermaximum erreicht. 2001 waren die Raupen dann noch dementsprechend häufig zu registrieren, wenn sie sicher auch bereits durch Parasitoide in frühen Stadien dezimiert worden waren. Die Falter hingegen waren hauptsächlich deshalb viel seltener als im Vorjahr, weil die meisten Kokons *Brachymeria*-Wespen statt Widderchen entließen.

Vermutlich ist die Parasitierung auch für einen Teil der Abundanzschwankungen, bzw. den permanenten Rückgang, im Untersuchungszeitraum bei *Z. purpuralis* am Moldenberg und im Eselsburger Tal oder von *Z. loti* ebenfalls am Moldenberg verantwortlich. Bei diesen Arten sind nach den Beobachtungen besonders noch junge Raupen parasitiert, so daß in Verbindung mit den versteckten Kokons eine quantitative Erfassung im Freiland kaum möglich ist.

Interessant ist die im Untersuchungsgebiet vielfach gleichsinnige Entwicklung. So fielen das Abundanzmaximum und der Einbruch durch starke Parasitierung, die anhand des *Brachymeria*-Anteils erfaßt werden konnte, bei *Z. filipendulae* im Lindletal und in der Lonetal-Flächenalb weitgehend zusammen. Schwankungen zwischen den Biotopen umfaßten nur höchstens ein Jahr. Ein umfangreicher Individuenaustausch der Parasitoide zwischen den beiden durch mehrere Kilometer Wald getrennten Gebiete ist eher unwahrscheinlich, zwischen den einzelnen Halbtrockenrasen innerhalb der Regionen dagegen sehr gut möglich. Folglich hat sich in beiden Gebieten die Parastoidenpopulation unabhängig voneinander aufgebaut. Somit müssen auch die Voraussetzungen, die die vorher notwendige Zunahme der Wirtspopulation ermöglicht hatten, sowohl im Lindletal als auch in der Lonetal-Flächenalb erfüllt gewesen sein. Hierbei in Betracht kommt nur der überall ähnlich einwirkende Witterungsverlauf.

#### 4.4.5 Konkurrenz

Die Bedeutung von Konkurrenz bei der Limitierung von Abundanz und Verbreitung von Arten wurde und wird sehr kontrovers diskutiert (z.B. SLATKIN 1974; SCHOENER 1983; GUTIÉRREZ et al. 2001). Bei den Widderchen liegt offensichtlich keinerlei territoriale Konkurrenz vor, da sie ganz im Gegenteil zu geselligem Verhalten auf engstem Raum tendieren. Nachdem auch „chemische Konkurrenz“ (vgl. SCHOENER 1983) kaum wahrscheinlich ist, bleibt als einzige mögliche Konkurrenzform diejenige um die Ressourcen Raupennahrungspflanze und Nektar. Die Beobachtungen im Untersuchungsgebiet sowie Literaturangaben lassen jedoch den Schluß zu, daß selbst hier nur in wenigen Jahren mit hohen Populationsdichten, eventuell besonders kombiniert mit einem Ressourcenrückgang durch ungewöhnliche Witterung oder intensive Beweidung, mit einem nennenswerten Einfluß echter Konkurrenz zu rechnen ist. Im Vergleich zu den anderen Faktoren wie Witterung, Biotopqualität und Parasitierung kommt der Konkurrenz somit wahrscheinlich keine Schlüsselrolle zu, wenn auch das Ausmaß nur sehr schwer nachzuweisen ist.

Prinzipiell treten die Rotwidderchen je nach den Rahmenbedingungen in höherer Individuendichte auf. Dies verschafft ihnen den Vorteil, daß das typische Muster der schwarz-roten Warnfärbung, das auf ihre Ungenießbarkeit bzw. Giftigkeit für Wirbeltiere hinweist, für solche potentiellen Prädatoren leichter erlernbar ist. Mit zunehmender Individuendichte könnte aber auch die Bedeutung der intra- und interspezifischen Konkurrenz um Nahrungspflanzen für Falter und Raupen zunehmen.

Sehr hohe Populationsdichten werden nur bei flächendeckendem Vorkommen der Raupennahrungspflanze erreicht. So sind *Thymus* und *Z. purpuralis* am Ramenstein sehr

häufig, *Hippocrepis* und *Z. transalpina* dagegen am Wartberg. Gleichzeitig sind an Lokalitäten hoher Widderchendichte stets sehr viele Nektarpflanzen anzutreffen, so zum Beispiel am Wartberg. Also reflektiert die Widderchenzahl das Angebot der Ressourcen an geeigneten Larval- und Imaginalnahrungspflanzen wider, zumindest wenn die abiotischen Biotopfaktoren weitgehend erfüllt sind. Folglich sind die Tiere in Habitaten oder zu Zeiten mit unzureichendem Angebot selten, wie etwa oft *Z. minos* (vgl. 3.8.1). Eine Einnischung nach der Ressourcenverfügbarkeit wird bei der Kophänologie der Widderchen und ihrer Nektarpflanzen besonders deutlich. Limitierend sind somit die absoluten Mengen an vorhandener Nahrung. In Gebieten mit hoher Nektarpflanzendichte sind hohe Falterdichten und damit auch starke Überschneidungen phänologisch ähnlicher Arten möglich. Die Gesamtabundanz der Widderchen ist somit eher primär ressourcen- und sekundär parasitoidlimitiert und die Zusammensetzung der Gemeinschaft dabei abhängig von der abiotischen Ausstattung des jeweiligen Habitats in Kombination mit der ökologischen Valenz der Arten wie besonders der Variabilität ihres Entwicklungszyklus. Steigt die Widderchengesamthäufigkeit kurzfristig etwa infolge geringer Parasitierung, häufiger Raupenfutterpflanze und günstiger Witterung über die Ressourcenverfügbarkeit der Nektarpflanzen an, so verringert sich der Reproduktionserfolg aller Tiere zu dieser Zeit und die Populationen nehmen ab. Ein Indiz ist beispielsweise das Besuchen suboptimaler Nektarpflanzen in Jahren sehr hoher Populationsdichte (vgl. 4.4.1). Gleichzeitig mit hohen Populationsdichte nimmt allerdings auch der Faktor Parasitierung sprunghaft zu, so daß die Ressourcenlimitierung nicht allein für einen nachfolgenden Falterrückgang verantwortlich gemacht werden kann.

Ein eindeutiger Einfluß von Konkurrenz wäre somit nur möglich, wenn alle Arten bei unterschiedlicher Konkurrenzkraft gleich von der Nektarpflanzenlimitierung getroffen würden. Hier kommt der Grad der Stenanthie bzw. die genetische Variabilität ins Spiel. Arten mit hoher Anzahl an genutzten Pflanzen können besser auf zwar suboptimale, aber immerhin etwas Nektar liefernde Ersatzpflanzen ausweichen als sehr stenanthie Widderchen. Dazu paßt sehr gut, daß *Z. loti* als euryanthe Art deutlich häufiger ist als die gleichzeitig fliegende, stenanthie *Z. minos* zu den frühen Zeiten mit noch geringerer Nektarpflanzenhäufigkeit. *Zygaena filipendulae* ist dagegen als ebenfalls sehr euryanthe Art im Hoch- und Spätsommer bei weitem das individuenreichste Widderchen. Hierbei spielt allerdings die gesamte ökologische Valenz eine Rolle, von der der Grad der Euryanthie aber ein wohl repräsentativer Ausschnitt sein dürfte. Betroffen sind gleichfalls Blütenbesucher anderer taxonomischer Gruppen, die nach den Ergebnissen mindestens zwei Drittel aller Blütenbesucher in den Untersuchungsgebieten stellen. So können beispielsweise Hummeln auch auf von Widderchen wenig beachtete Lamiaceen oder Fabaceen ausweichen. Von klassischer Konkurrenz, bei der eine Ressource einer Art wegen Nutzung durch eine konkurrenzstärkere andere Art ersterer nicht mehr zur Verfügung steht (SCHOENER 1983), kann aber gleichfalls nicht ohne Probleme gesprochen werden. Weiter liegt keine negative Koppelung der Individuenhäufigkeit der Widderchen mit der der Nektarpflanzen vor, wie es bei Populationen von Räubern und noch mehr von Parasitoiden und ihrer Ressource Beute bzw. Wirt zu erwarten ist. Unterschiedliche Konkurrenzkraft in Bezug auf die Blüten müßte sich ferner in einer Vertreibung unterlegener Arten und/oder einer effizienteren Ausbeutung des Nektars manifestieren. Eine Vertreibung wurde nur selten beobachtet (vgl. WAGNER 1999), etwa wenn „agilere“ Arten durch ungestümes Verhalten ruhigere vertreiben. Dies kommt allerdings wegen meist viel größerer Blüten- als Widderchenzahl zu selten vor, um wirklich relevant zu sein. Unterschiede in der Effizienz sind allerdings möglich. So verbringen besonders *Z. purpuralis* und *Z. carniolica*, aber auch andere, sowohl schlechtere Witterungsphasen als auch Randzeiten abends und morgens auf den Blüten, wobei es immer wieder zur Nektaraufnahme kommt. Dies könnte ihnen einen Konkurrenzvorteil verschaffen vor Widderchen, die kaum auf Blüten ruhen wie *Z. transalpina* und *Z. viciae* sowie vor anderen Insekten außer den im Blütenbesuch vergleichbaren Hummeln.

Bei den Raupennahrungspflanzen ist das Vorliegen einer Konkurrenz nicht leichter zu beurteilen. Prinzipiell sollte die Konkurrenz bei kleinen Tieren und auf unteren trophischen Ebenen wie Pflanzenfressern eher gering sein, besonders, wenn sie wie die Widderchen stark von Prädation bzw. Parasitismus beeinflusst sind (SCHOENER 1983). Des Weiteren ist die Konkurrenz abhängig vom Grad der Überlappung in der Ressourcennutzung (z.B. ABRAMSKY et al. 1979). Schließlich ist vermutlich der Effekt von Konkurrenz auf seltene Arten geringer oder zumindest schwerer nachweisbar (SCHOENER 1983). Folglich wäre für die Widderchen die stärkste Konkurrenz zwischen den phänologisch und nahrungsbiologisch ähnlichen *Z. filipendulae* und *Z. carniolica* zu erwarten, zumal sie ein Optimum unter den gleichen abiotischen Lebensraumbedingungen aufweisen. Beide Arten sind mit einem signifikanten Spearman-Koeffizienten von 0,5 stark positiv miteinander korreliert. Die Paarungen der ähnlich weit verbreiteten *Z. carniolica* und *Z. loti* oder *Z. filipendulae* und *Z. loti* kommen nur auf etwas geringere Werte unter 0,4. Beide zuerst genannten Widderchen sind an den gleichen Fundorten sehr häufig (Hirschhalde, Wartberg, Eselsburger Tal, Bopfingen). Eine starke Konkurrenzsituation ist somit sehr unwahrscheinlich. Eine Ursache könnte allerdings die aufgedeckte relative phänologische Trennung der Larven spielen, die die Überschneidung etwas abmildert. Diese ist in diesem Fall auf die unterschiedliche Mindestentwicklungszeit und verschiedenen Aktivitätsbeginn im Frühjahr zurückzuführen und somit wohl weniger eine Koexistenzstrategie zweier Arten als eine Anpassung von *Z. filipendulae* an die Blühphänologie. Bei der Auftrennung der exakt synphänen *Z. filipendulae* und *Z. transalpina* auf *Lotus* und *Hippocrepis* ist eine Koexistenzstrategie dagegen nicht auszuschließen. Nicht unbedeutend dürfte hierbei aber auch der Aspekt einer räumlichen Ausdünnung der Raupen sein, da so die Ressourcendichte für Parasitoide sinkt. Es ist demnach nicht nachgewiesen, daß *Lotus* bei einer gleichzeitigen Nutzung durch diese zwei Arten so stark ausgebeutet würde, daß die konkurrenzschwächere der beiden Widderchen seltener würde. Bei einer Untersuchung an vier *Lotus*-Fressern unter den Lepidopteren (GUTIÉRREZ et al. 2001) konnte kein wechselseitiger Einfluß auf die Verbreitung und Abundanz der einzelnen Arten (*Z. filipendulae*, *Polyommatus icarus*, *Plebeius argus*, *Erynnis tages*) nachgewiesen werden. Oft waren gerade die individuenreichsten Vorkommen zumindest zweier Arten auf der gleichen Fläche gelegen, weshalb die Autoren Konkurrenz als wichtigen Faktor für unwahrscheinlich halten. Allerdings muß betont werden, daß die Arten unterschiedlichen taxonomischen Gruppen entstammen, die abgesehen von vielen anderen Faktoren eine unterschiedliche Detailphänologie an der gemeinsamen Nahrungspflanze aufweisen dürften, so ganz besonders *E. tages*. Immerhin liegen auch aus dem Untersuchungsgebiet kaum Anhaltspunkte auf eine Konkurrenz der Widderchen mit Vertretern anderer taxonomischer Gruppen um Fraßpflanzen vor, vielleicht mit Ausnahme von *Polyommatus coridon* (vgl. unten).

Somit verbleiben nur sehr wenige, oft lokale Aspekte, bei denen Konkurrenz eine größere Rolle spielt. Hierunter fällt beispielsweise die Beobachtung, daß *Polyommatus coridon* (Lycaenidae) in wenigen Einzelfällen durch Kahlfraß bei geringem *Hippocrepis*-Vorkommen den später erwachsenen Raupen von *Z. transalpina* die Nahrungsgrundlage teilweise entziehen kann, wie an der Rappshalde beobachtet (vgl. WAGNER 1999).

Insgesamt sollte man bei Widderchenpopulationen weniger von Konkurrenz als von Ressourcenlimitierung ihrer Abundanz sprechen. Hierbei liegt es allerdings auf der Hand, daß in einem Biotop aufgrund der Ressourcen, aber auch der Parasitoide, nicht alle Arten zur selben Zeit in ähnlicher Abundanz aktiv sein könnten wie dies durch räumliche und besonders zeitliche Einnischung real ermöglicht wird. Dabei liegt aber nach vorliegender Untersuchung in vielen Fällen (außer vermutlich *Z. minos*) weniger eine eindeutige aktive Koexistenzstrategie aufgrund von Konkurrenz als vielmehr eine von einer Mischung aus Herkunft, Mindestentwicklungszeit und genetischer Variabilität bestimmte ökologische Valenz als Ausdruck des Anpassungsgrads an die Ressourcenverfügbarkeit vor, der je nach Art und

deren Möglichkeit etwas anders ausfällt. Dies könnte man aber immerhin als „passive Koexistenz“ deuten. Darunter fällt auch, daß *Z. filipendulae* wegen der großen Variabilität bei der Diapausebeendigung als Raupe und Imago zeitlich sehr streut, wodurch in einem Habitat bei dieser häufigsten Art mehr Individuen zur Fortpflanzung kommen dürften als bei einer Konzentration der Flugzeit auf wenige Wochen. Hier liegt somit eine wohl passive „Vermeidungsstrategie“ für innerartliche Konkurrenz vor.

#### 4.4.6 Folgen für die Abundanz

Die innerhalb weniger Jahre bei regelmäßiger Beweidung meist nur geringen Schwankungen unterworfenen flächenmäßige Ausdehnung und die Qualität der Halbtrockenrasen bestimmt in Korrelation mit dem Optimumsgrad für die jeweiligen Widderchenarten die wenigstens über mehrere Jahre weitgehend konstante Habitatkapazität (WEIDEMANN 1995; SETTELE et al. 1999), das heißt die maximal mögliche Individuenzahl, bei der letztere im Gleichgewicht mit den Ressourcen ist. Die tatsächlich vorhandene Individuenzahl einer Art ist jedoch zusätzlich beeinflusst vom Witterungsverlauf und Parasitierungsgrad. Weitere Einflüsse sind durch Unterschiede in der Beweidungsintensität zwischen den Jahren möglich.

Als Folge besonders des unterschiedlichen Witterungsverlaufs und der Parasitierung sind die Individuenzahlen der Widderchen wie die der meisten anderen Insekten nicht konstant, sondern schwanken jahrweise. Je größer infolge optimaler Witterung die Populationsdichte der Widderchen wird, desto stärker steigt mit einem zeitlichen Versatz von ein bis zwei Jahren auch die Dichte der Parasitoide an. Diese läßt dann innerhalb von etwa ein bis zwei Jahren die Widderchenabundanz einbrechen. Sie geht anscheinend in den Folgejahren immer weiter zurück, wie an Arphalde und im Eselsburger Tal an *Z. filipendulae* beobachtet. Wie lange dieses Populationsminimum andauert, könnte erst nach langjährigen (10 bis 15 Jahre) Beobachtungen im Untersuchungsgebiet geklärt werden. Es ist aber wohl von einem Zeitrahmen von mindestens drei Jahren auszugehen. Zwischen den einzelnen Abundanzmaxima einer Art dürften somit etwa sechs bis zehn Jahre liegen. Auch bei vielen anderen Insektenarten sind langjährige Abundanzzyklen beobachtet worden, die auf den Einfluß von Parasitoiden zurückgeführt werden, so bei den Nymphaliden *Nymphalis antiopa* (EBERT & RENNWALD 1991) oder *Euphydryas aurinia* (SETTELE et al. 1999).

Die Geschwindigkeit bzw. der Beginn des Aufschwungs der Widderchenpopulationen nach dem Zusammenbrechen der Parasitoidpopulation ist dann vermutlich wieder besonders witterungsabhängig und kann sehr schnell vor sich gehen wie zwischen 1998 und 1999 an verschiedenen Fundorten (besonders Wartberg) bei *Z. transalpina*, *Z. filipendulae* und *Z. carniolica* festgestellt. Neben der Bedingung einer geeigneten Witterung, wie sie im warmen Jahr 1998 anscheinend erfüllt war, ist hierfür ursächlich, daß zunächst wesentlich mehr Ressourcen als Widderchen vorhanden sind. Die Minimumsphase ist die kritischste Zeit für die Widderchenpopulation, in der besonders in suboptimalen Habitaten ein hohes Aussterberisiko gegeben ist. Voneinander relativ unabhängig verhält sich möglicherweise die Parasitierung in einem Biotop bei Widderchenarten mit später und solchen mit früher Phänologie, wohl deshalb, weil die Larven von *Z. minos* oder *Z. loti* mit denen von *Z. filipendulae* nur kurze Zeit phänologisch überschneiden. Schon aus diesem Grund dürften sie ein zumindest teilweise anderes Parasitoidenspektrum besitzen. Neben den Parasitoiden kann mit einiger Wahrscheinlichkeit auch allein eine sehr ungünstige Witterung die Populationsdichte im Folgejahr verringern. Der starke Rückgang von *Z. purpuralis* am Moldenberg oder im Eselsburger Tal muß mangels ausreichender Beobachtung des Parasitierungsgrades ungeklärt bleiben, im Gegensatz zu dem von *Z. filipendulae* an Wartberg und Hetzenäcker.

Als Folge der Abundanzzyklen können Untersuchungen in verschiedenen Jahren ein völlig unterschiedliches Bild der quantitativen und sogar der qualitativen Zusammensetzung der Biozöosen liefern. Fundierte Aussagen zum Artenspektrum und zur Abundanz sind erst nach mehrjährigen Beobachtungen möglich. Selbst die bei sieben Gebieten immerhin vierjährige Untersuchungszeit reicht hierfür nicht aus. WEIDEMANN (1995) geht beispielsweise von einer Mindestbeobachtungszeit von sieben Jahren bei Schmetterlingspopulationen aus.

#### 4.5 Populationsdynamik und Mobilität

Die starke Populationsdynamik, die sich bei *Z. purpuralis* in einem beobachteten Austausch der Individuen von bis zu 75 % innerhalb von drei Tagen am Ramenstein trotz einer theoretischen Lebenserwartung von drei Wochen zeigt, macht eine Ausrichtung des Lebens der Imagines auf schnelle und effektive Fortpflanzung noch vordringlicher als bei manchen anderen Insekten wie beispielsweise Heuschrecken. Als Folge lassen sich im fraglichen Zeitraum sehr individuenarme Populationen teils nur sehr schwer oder gar nicht nachweisen, da nur bei hohem Zeitaufwand eine statistische Wahrscheinlichkeit für das Antreffen von Faltern besteht.

Dabei ist aber der Anteil der abwandernden Tiere und der der Todesrate kaum zu bestimmen. Nachdem manche Tiere immerhin bis zu 2,5 Kilometer entfernt wiedergefangen wurden, ist der Aufwand an Individuen für die Dispersion selbst bei relativ ortstreuen Arten wie Widderchen als ziemlich hoch einzustufen.

Der Rückgang der an einem Tag markierten Tiere war bis zur nächsten Begehung am stärksten, während er sich dann in der Folge abschwächte und meist unter 50 % lag. Gleichzeitig verstärkte sich diese Entwicklung mit zunehmender Dauer der Flugzeit, so daß die anfängliche Abnahme um den Faktor zwei bis zum Faktor vier anstieg. Diese Beobachtung machte ich nicht nur am Ramenstein, sondern gleichfalls an den meisten anderen Fundorten im Lindletal und bei *Z. minos*. Hier sind zwei zu überprüfende Erklärungsmöglichkeiten denkbar. Einerseits könnte besonders bei hohem Populationsdruck eine verstärkte Abwanderung frisch geschlüpfter Tiere stattfinden, die ihr Biotop noch nicht kennen und erst eine „Biotopakzeptanz“ herausbilden müssen. Andererseits kann aber auch eine erhöhte Sterblichkeit vorliegen, die dann nach einer Selektion der vitalsten Individuen wieder zurückgeht, wobei auch verhaltensrelevante Lernprozesse eine Rolle spielen könnten. Eine theoretisch ebenfalls mögliche Schädigung der Falter durch die Markierung ist unwahrscheinlich, da die Tiere allgemein nach dem Markierungsdurchgang ein normales, aktives (Blütenbesuchs-) Verhalten zeigten.

In diesem Zusammenhang interessant ist die Beobachtung, daß fast alle Fernwanderer bei *Z. purpuralis* in ihrem neuen Biotop genau bei der nach der Markierung übernächsten Begehung, also etwa nach einer Woche, angetroffen wurden. Dies spricht für ein Abwandern der Individuen in jungem Alter aus den Ursprungsgebieten. Hier wären spezielle Untersuchungen durchzuführen, die mindestens tägliche Begehungen/Markierungen in ausgewählten Gebieten wie etwa dem Lindletal umfassen sollten. Wichtig wäre es weiterhin, Informationen über das Verhalten beim Dispersionsflug, etwa die Flugroute und -geschwindigkeit, zu erhalten. Im Lindletal kann dabei die Nutzung des Straßenrandes beziehungsweise Waldsaums vermutet werden, wenn auch ein direktes Überfliegen geschlossener Hochwaldbestände zumindest für das Erreichen des Stürzlesberg wahrscheinlich ist, so bei der Wanderung einer *Z. lonicerae* aus dem südlichsten Reibertal.

Die meisten der wenigen registrierten Fernwanderer waren zur schlupfstärksten Zeit im Ursprungshabitat markiert worden. Ihr Nachweis ist somit vermutlich rein stochastisch begründet. Zu wenig schlupfstarken Zeiten markierte Individuen traten nicht als Fernwanderer in Erscheinung, höchstwahrscheinlich, weil ihre geringe Zahl unter der Nachweisgrenze lag.

Diese Nachweisgrenze als Wahrscheinlichkeit des Auffindens einer bestimmten Fraktion von Individuen korreliert mit der Erfassungsintensität, der -fläche und der real vorhandenen Individuenzahl. Der zeitliche Versatz zwischen Markierung und Ankunft im neuen Habitat bedingt dann, daß solche Wanderungen meist erst in der zweiten Hälfte der Flugzeit registriert werden. Die Ursache dafür ist also hauptsächlich stochastischer Natur und man kann zumindest im untersuchten Fall nicht von einer häufig in der Literatur (SETTELE et al. 1999) diskutierten verstärkt ausgelösten Dispersion gegen Ende der Flugzeit sprechen.

Wie groß der Anteil von Abwanderung und Tod an den starken Rückgängen der markierten Tiere bis zur nächsten Begehung war, kann insgesamt folglich kaum abgeschätzt werden. Zumindest läßt das Auffinden doch etlicher am Ramenstein markierter Tiere in größerer Entfernung an teils isolierten Heideflächen den Schluß zu, daß ein nicht unerheblicher Anteil der Imagines das Entwicklungshabitat verläßt. Die Chancen der Tiere, zufällig einen geeigneten neuen Lebensraum zu finden, sind dabei meist nicht sehr groß und vom Anteil solcher Flächen an der Landschaft abhängig. Die Investition einer Population in eine solche sicher verlustreiche Dispersion ist notwendig, um der Art das Erreichen günstiger, unbesiedelter Habitate zu ermöglichen und einen Genaustausch zwischen bereits kolonisierten zu ermöglichen. Ein weiterer Hinweis auf Dispersionsvorgänge ist die Beobachtung, daß in der Nähe zu starken Vorkommen auch in allein mit hoher Wahrscheinlichkeit unbesiedelten, weil suboptimalen, Habitaten Individuen jahrweise angetroffen werden können, also ein source-sink-Verhältnis im Sinne einer Metapopulation vorliegt (SETTELE et al. 1999). Dies betrifft beispielsweise *Z. minos* an der Geißkanzel und im Reibertal sowie an einer Stelle südöstlich von Neresheim. Weiterhin ermöglicht die Mobilität auch ein Vorkommen an mehreren räumlich benachbarten, aber aufgrund von Kleinflächigkeit oder weiteren Faktoren allein nicht ausreichenden Flächen ebenfalls in Form einer Metapopulation (SETTELE et al. 1999). Diese Konstellation trifft offensichtlich auf die kleinen Gebiete bei Mergelstetten zu, wo auch Aussterbeprozesse registriert werden konnten (vgl. 3.4.1). Widderchen sind demnach nicht grundsätzlich die wenig mobilen, rein standorttreuen Insekten, als die sie manchmal charakterisiert werden (LÜTTMANN 1987). Besser spricht man von mehr oder weniger stenotopen Arten, die eine starke Bindung zu einem bestimmten Biotoptyp aufweisen, solche „Standorttreue“ aber mit einem gewissen Anteil dispergierender Individuen verbinden. Sicher nicht als Metapopulationen liegen dagegen die verbreiteten Arten *Z. filipendulae* und *Z. purpuralis* vor. Hier sind kaum geeignete, bislang unbesetzte Habitate vorhanden, so daß demnach keine Neubesiedlungen stattfinden können. Aussterbeprozesse sind gleichfalls wohl nur durch Biotopzerstörung bedingt.

Die Wiederfangzahlen in vorliegender Untersuchung sind zwar methodisch bedingt nur eingeschränkt mit denen bei SMOLIS & GERKEN (1987) oder KREUSEL & BÖHMER (1998) vergleichbar, liegen aber mit den erhaltenen 30 % Wiederfangquote bei *Z. purpuralis* bei der ersten Begehung nach der Markierung und 69 % bei allen Begehungen im Durchschnitt ähnlich wie die im Weserbergland erhobenen 44 % bei den erstgenannten Autoren. Bei KREUSEL & BÖHMER (1998) liegen vom überdies nicht aufgeschlüsselten *Z. minos/purpuralis*-Komplex zuwenig Daten für einen sinnvollen Vergleich vor. Die insgesamt geringen eigenen Wiederfänge bei *Z. filipendulae* werden ebenfalls von SMOLIS & GERKEN (1987) bestätigt (22 %), während KREUSEL & BÖHMER (1998) hier den doppelten Wert (45 %) erzielten. Neben methodischen Diskrepanzen (Suchintensität, -intervalle) scheinen also auch unterschiedliche Habitatstrukturen oder jährweise Unterschiede einen größeren Einfluß auszuüben. Interessanterweise geben aber letztere Autoren für *Z. filipendulae* die geringste mittlere Verweildauer im Biotop von unter vier Tagen an. Insgesamt liegt der Verdacht nahe, daß die Art einen höheren Prozentsatz an Individuen für die Dispersion investiert als viele andere Widderchen.

Die festgestellte Phänologie der Geschlechter bei *Z. minos* und *Z. purpuralis* ähnelt stark dem bei KREUSEL & BÖHMER (1998) für *Z. filipendulae* erhobenen. Der Verlauf des Verhältnisses MM:WW ergibt ebenfalls eine Gerade mit negativer Steigung. Nach den Beobachtungen zu den anderen Arten dürften somit alle einheimischen Widderchen eine deutliche Proterandrie aufweisen, wie dies für viele andere Insekten ebenfalls typisch ist und eine schnelle Begattung der WW sichert.

Mit jeweils 20 Tagen für *Z. minos* und *Z. purpuralis* liegt die theoretisch mögliche Lebenserwartung unter Freilandbedingungen ähnlich wie die für *Z. viciae*, *Z. loti* und *Z. filipendulae* bei KREUSEL & BÖHMER (1998). Sie dürfte somit bei allen untersuchten *Zygaena*-Arten um drei Wochen betragen, wobei aber nur höchstens 1 % der Tiere dieses Alter aufgrund widriger Umstände wie der Witterung auch erreicht. Die im Lindletal beobachtete geringere Zeit bei *Z. filipendulae* rührt von den insgesamt geringeren Wiederfangzahlen bei dieser Art her. Der Anteil der Wiederfänge an den gesamten markierten Individuen liegt nach einer Woche und nach zwei Wochen sowohl bei *Z. minos* als auch bei der viel zahlreicheren *Z. purpuralis* in der gleichen prozentualen Größenordnung, was einen relativ dichteunabhängigen Verlauf des Rückgangs einer Markierungskaste indiziert und Prädation als wichtigsten Faktor ausschließen sollte. Andere, nicht überwintrende und als Imagines noch Nahrung aufnehmende Falterarten leben teils ähnlich lange wie beispielsweise *Melitaea*-Arten (SETTELE et al. 1999), teils aber deutlich länger, so zum Beispiel die *Hipparchia*-Arten und Verwandte (sechs Wochen und mehr).

Die bei *Z. purpuralis* ermittelten maximalen Dispersionsdistanzen (Luftlinie) lagen mit bis zu 2,5 Kilometern ähnlich den für *Z. loti* und *Z. filipendulae* von KREUSEL & BÖHMER (1998) festgestellten. In deren Arbeit war besonders *Z. viciae* mit maximal 1,2 Kilometern und nur geringer Austauschrate deutlich „standorttreuer“. Hier wurde allerdings auch mit 22 % nur eine geringe Wiederfangrate erzielt, so daß aufgrund der versteckteren Lebensweise sicher mehr dispergierende Falter übersehen wurden als bei anderen Arten. Insgesamt wurde ebenfalls nur eine sehr geringe Zahl – gemessen an allen markierten Tieren – an Fernwandernern beobachtet. Da LÜTTMANN (1987) und SMOLIS & GERKEN (1987) jeweils nur einen zwar durch Gebüschzonen untergliederten, aber doch zusammenhängenden Kalkmagerrasen untersuchten, liegen ihre beobachteten maximalen Wanderdistanzen methodisch bedingt deutlich niedriger, so bei letzteren für *Z. purpuralis* bei maximal 400 Metern. Ebenfalls geringe Wanderdistanzen bzw. -häufigkeiten stellten GUTIÉRREZ et al. (2001) bei *Z. filipendulae* in Großbritannien fest, wo nur 2 % der Tiere mehr als 200 Meter wanderten.

Insgesamt sank die Austauschrate mit zunehmender Entfernung zu geeigneten Biotopen stark ab. So wechselten deutlich mehr Tiere zwischen Ramenstein und Hetzenäcker und zwischen den Teilen der Bläßhalde, als etwa zwischen Stürzlesberg und Ramenstein. Zwischen mehr als einen Kilometer entfernten Habitaten wird somit nur in Jahren mit einer wenigstens auf einer dieser Flächen hohen Individuenzahl eine nachweisbare Mobilität erzielt. Damit ist die „fehlende“ Fernmobilität bei *Z. minos* 2001 im Lindletal leicht erklärbar. Da die Individuenzahl gering war, konnten nur die noch etwas zahlreicheren erfolgreichen Austauschprozesse zwischen nahen Habitaten wie Ramenstein-Hetzenäcker registriert werden, nicht jedoch potentielle Fernwanderungen. Dabei dürften sicher Tiere zumindest den Versuch dazu unternommen haben, es kam aber wegen zu geringer Ausgangszahl kein Tier erfolgreich an oder die wenigen angekommenen Tiere lagen unter der Nachweisgrenze. Ein prinzipiell unterschiedliches Dispersionsverhalten ist dagegen bei den beiden Arten unwahrscheinlich. Der Anteil der Individuen einer Population, die das Habitat verlassen, könnte deutlich höher liegen als bisher eingeschätzt und so zur kurzen mittleren Verweilzeit neben dem vorzeitigen Tod durch Witterung und Prädation in größerem Umfang beitragen. Aufgrund der schlechten Nachweisbarkeit und der hierfür nötigen großen Zahl an Ausgangsindividuen sind spezielle

Untersuchungen dringend notwendig. Das Mittel der Wahl wäre hier die Telemetrie, nur ist aufgrund technischer und finanzieller Probleme auch in fernerer Zukunft noch nicht mit einer Durchführbarkeit solcher Studien zu denken.

Aufgrund der geringen Wahrscheinlichkeit für ein Einzeltier, ein weit entferntes Habitat zu erreichen, kommt somit den zumindest jahrweise stark besiedelten Optimallebensräumen eine sehr bedeutsame Rolle bei dem Erhalt von in der näheren Umgebung befindlichen Standorten mit momentan geringer Individuenzahl sowie der Neubesiedlung von Standorten mit in schlechten Jahren erloschenen Beständen zu. Übereinstimmend mit KREUSEL & BÖHMER (1998) kann von einer Isolation der untersuchten Widderchenarten ab etwa drei bis vier Kilometern Entfernung zu anderen Habitaten ausgegangen werden. Somit ist das Vorkommen von *Z. transalpina* an der Hirschhalde vollständig von allen weiteren isoliert, da es beispielsweise nach Süden knapp fünf und nach Norden bzw. Osten und Westen mindestens acht Kilometer von weiteren Vorkommen entfernt ist. Ausschlaggebend für den Erhalt dürfte hier die große Fläche an *Hippocrepis*-reichem, südexponierten Optimalhabitat sein.

#### 4.6 Synoptische Betrachtung

Insgesamt ergibt sich bei den Widderchen das Bild dynamischer, fluktuierender Populationen, die nur durch Ausnutzung aller sich ihnen bietender Möglichkeiten überleben können. So schlüpfen die WW morgens mit zum Teil vollentwickelten Eiern und werden umgehend meist noch am Schlupfort von den wegen der Protandrie ausreichend vorhandenen MM begattet. Ein Teil des Eivorrats wird häufig noch am ersten Tag abgelegt, und zwar in zeitsparenden Gelegen in Spiegel- oder Haufenform. Diese im Untersuchungsgebiet unter anderem bei *Z. minos* und *Z. purpuralis* erfolgte Beobachtung wird in der Literatur bestätigt, so bei HOFMANN (1994) für *Z. carniolica*. Damit wird für den Erhalt der Art im Ursprungshabitat gesorgt, während der Anteil länger lebender Individuen bei günstigen Voraussetzungen für ein Populationswachstum im Biotop und die Dispersion zum Erreichen anderer Lebensräume sorgt.

Von den Ressourcen wie dem Anteil an Larvalhabitat geeigneter Fläche mit ausreichenden Raupennahrungsbeständen unter jeweils zusagenden mechanischen und mikroklimatischen Verhältnissen und der Nektarpflanzenanzahl wird die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Widderchenzönosen determiniert, die aber noch weiteren Faktoren wie der Parasitierung unterliegt. So konnten starke Populationen nur bei größeren Beständen der jeweiligen larvalen Fraßpflanze vorkommen. Zusätzlich flogen nur in blütenreichen Habitaten wie Wartberg, Erbisberg oder Hirschhalde individuenreiche synphäne Populationen. In anderen Biotopen dominierte zu gegebener Zeit meist nur eine Art, so an Rappeshalde, Kunigundenbühl, Hohem Rain oder Irpfl. Dies waren dann diejenigen, deren biotische und abiotische Ansprüche dort am besten erfüllt wurden. Sind aber die Voraussetzungen mehrerer Arten weitgehend erfüllt, so dominiert anscheinend die euryökere Art. Auf vielen Heiden der Lonetal-Flächenalb wie dem Hohen Rain war *Z. filipendulae* deutlich häufiger als *Z. carniolica*, obwohl sie bei hoher Blütendichte gemeinsam starke Populationen ausbilden konnten wie am Wartberg, am Riesrand bei Bopfingen oder eingeschränkt auch am Benzenberg.

Auf welchen Faktoren beruht aber nun die ökologische Valenz, also der Grad an Euryökie? Bei den Widderchen sind die Arten in vielen unterschiedlichen Ausprägungen von Magerrasen vorhanden, deren von der Herkunft, also ihrer Phylogenie, und der genetischen Variabilität bestimmten Eigenschaften dies zulassen. Eine wichtige Rolle spielt dabei wie in vorliegender Untersuchung aufgezeigt die notwendige Entwicklungszeit, von deren Dauer im Vergleich zur Vegetationszeit die großklimatisch bedingte potentielle Gesamtverbreitung

sowie die kleinklimatisch kontrollierte Feinverteilung innerhalb des Areals abhängt. Widderchenarten mit Reserven, also mit vergleichsweise kurzer Entwicklungszeit, könnten prinzipiell ihre Phänologie in unterschiedlichen Gebieten an die Ressourcen anpassen. Hier kommt es dann auf die vorhandene genetische Variabilität an, die eine Anpassung an unterschiedliche Verhältnisse überhaupt zuläßt. Eine solche Variabilität weisen innerhalb der Arten mit kurzer Entwicklungszeit *Z. transalpina* und ganz besonders *Z. filipendulae* auf, weniger aber anscheinend *Z. loti* und *Z. minos*. Durch unterschiedliche Selektionsbedingungen könnte bei genetisch so variablen Arten wie *Z. filipendulae* auch ein Artbildungsprozeß im Sinne einer adaptiven Radiation in Gang kommen.

Ökologische Kompensation (WEIDEMANN 1995) durch Besiedelung xerothermerer Biotope in nördlicheren Breiten ist also nicht wie allgemein angenommen nur Ausdruck des primären, teils von der Herkunft erklärbaren Wärmebedürfnisses der Arten, die unter kühleren Bedingungen etwa leichter Krankheiten zum Opfer fallen würden. Bei den Widderchen könnten sich alle Arten im Untersuchungsgebiet auch unter vergleichsweise ungünstigeren Bedingungen, wie sie auf ebenen Flächen oder Nordwesthängen gegeben sind, prinzipiell entwickeln. Selbst unter etwas kühl-feuchteren Zuchtbedingungen waren die Verluste während der Larvalentwicklung auch bei Arten wie *Z. carniolica* meist gering. So bleibt als Hauptursache für unterschiedliche Habitatbindung im Untersuchungsgebiet die unterschiedliche Mindestentwicklungszeit (4.3.1) als Ausdruck einer Mindestwärmesumme, die in der Vegetationsperiode abgedeckt sein muß und so das besiedelbare Habitatspektrum bedingt. Daß allerdings oft auch Arten, die wie *Z. filipendulae* auch Nordhänge besiedeln, trotzdem an Südhängen abundanter sind, könnte an einem verminderten Blütenangebot (*Scabiosa*) liegen sowie einer thermisch bedingten, geringeren Eiablagequote pro W, also einem schwächeren Fortpflanzungserfolg gerade in kühleren, sonnenärmeren Jahren.

#### **4.7 Folgen für den Naturschutz**

Magerrasen haben für viele Offenlandarten in der heutigen übernutzten und überdüngten Landschaft eine zentrale Bedeutung. Nach Zerstörung eines Großteils einst vorhandener natürlicher Habitate wie Moore oder Magerrasen auf Kiesbänken breiter Flußauen sind diese anthropogenen Lebensräume die letzten Rückzugsräume einer einst vielfältigen Lebensgemeinschaft. Auch heute noch ist der Rückgang nicht zum Stillstand gekommen (BEINLICH & PLACHTER 1995; MATTERN et al. 1992) und sind die Flächen weiter durch Aufgabe der Wanderschäfferei, Überbauung, Sukzession und Düngung aus der Luft im Sinne einer stetigen Uniformisierung der Landschaft gefährdet. Dabei hängt es vom Anteil und der Verteilung der mehr oder weniger isolierten Einzelflächen an der Gesamtfläche ab, wieviele Arten langfristig überleben können. Als Bewertungssystem für die Magerrasen im Naturschutz dürfen nicht nur ausschließlich die seltensten Arten berücksichtigt werden (GUTIÉRREZ et al. 2001; WALTER et al. 1998), es müssen zusätzlich für jede taxonomische Gruppe die Biotope bestimmter Zielarten vordringlich geschützt werden. Diese Zielarten sollten ihr ökologisches Optimum in Bereichen hoher Biotopqualität haben, um so mit ihnen eine große Zahl weiterer Organismen erhalten zu können. Unter den Widderchen sind im Untersuchungsgebiet besonders *Z. carniolica* und *Z. minos* für eine solche Indikatorfunktion geeignet.

##### **4.7.1 Bedeutung und Gefährdung der Magerrasen**

Alle Widderchenarten kommen im Untersuchungsgebiet fast ausschließlich auf Magerrasen vor. Im überdüngten, mehrfach pro Jahr gemähten Wirtschaftsgrünland kann keine einzige Art mehr überleben, obwohl bei extensiver Nutzung wenigstens *Z. viciae*, *Z. filipendulae* und

vielleicht auch *Z. minos* etwa auf Salbei-Glatthafer-Wiesen vorkommen können (HOFMANN 1994). Ausweichlebensraum ist selbst für euryökere Arten wie *Z. viciae* und *Z. filipendulae* nur in ganz geringem Umfang an breiten, wenig gemähten Straßenrändern oder Offenbereichen wie Kahlschlägen im Wald vorhanden. Somit kommt den noch vorhandenen Magerrasen eine große Bedeutung beim Erhalt der noch verbliebenen Artendiversität zu. Dies gilt in besonderem Maß, wenn man hierbei das Vorkommen anderer Insekten wie Tagfalter, Heuschrecken, Bienen und Wespen sowie der Pflanzen mitberücksichtigt.

Nun ist die Fläche dieser so wichtigen Magerrasen auch auf der Ostalb in den letzten Jahrzehnten (MATTERN et al. 1992) sehr stark zurückgegangen, weil die Wirtschaftsform, durch die sie entstanden sind, nämlich die Beweidung mittels Wanderschäferei, heute nicht mehr rentabel ist. Viele ehemalige Schafweiden wurden zu Fettwiesen aufgedüngt, mit standortfremden Fichten oder Kiefern aufgeforstet, wie besonders eindrucksvoll im Raum Neresheim (Ostalbkreis) zu beobachten, oder durch Überbauung zerstört. An sich selbst überlassenen Standorten kommt die Sukzession hinzu, die im Lauf einiger Jahrzehnte zu einer Verbuschung und Verwaldung führt. Man könnte einwenden, daß die Kalkmagerrasen anthropozoogenen Ursprungs als nicht natürliche Lebensräume besser in natürliche Gesellschaften wie Wald übergeführt werden sollten, etwa auch im Rahmen eines oft propagierten „Prozeßschutzes“. Hierbei wird aber übersehen, daß natürliche Offenhabitate wie breite Umlagerungsstrecken von Flüssen mit den entsprechenden Magerrasen und Initialstadien oder viele Moorbereiche in Mitteleuropa zu einem hohen Prozentsatz dem immer weiter ausufernden Flächenanspruch des Menschen für Siedlungen, Industrie, Verkehrswege, land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen bereits zum Opfer gefallen sind. Die nicht-natürlichen, außeralpinen Magerrasen stellen also für viele Tier- und Pflanzenarten die allerletzten Rückzugsgebiete dar. Bei weiterem Rückgang dieser Lebensräume ist mit einem weiterem Aussterben einer Vielzahl von Organismen in Mitteleuropa zu rechnen. Weiterhin sind heute anthropogen bedingt veränderte Sukzessionsvoraussetzungen gegeben, die eine Berechtigung des Prozeßschutzes bei uns fast nur mehr in Waldreservaten sinnvoll erscheinen lassen. Allein die Düngung der gesamten Landschaft über die Luft aus industriellen und landwirtschaftlichen Quellen ist eine ernstzunehmende Bedrohung aller durch Nährstoffarmut gekennzeichneten Biotope und trägt zu einer Uniformisierung bei.

Trotz der in zahlreichen Arbeiten herausgestellten, heute allgemein bekannten Bedeutung von Magerrasen und dementsprechenden Schutzbemühungen konnte der Rückgang zwar gebremst, aber keineswegs aufgehalten werden. Auch heute noch gehen Flächen besonders durch die Sukzession nach Aufgabe der Beweidung verloren. Zunehmend größer wird wieder der Druck, auf Magerrasen trotz des gesetzlichen Schutzes Baugebiete auszuweisen, wie im Ostteil des Wartbergs durch die Stadt Herbrechtingen geschehen oder auch in Heidenheim (Heckental). Andere Heiden werden von Baugebieten regelrecht eingeschlossen, was eine schleichende Entwertung durch zu häufiges Begehen, Nährstoffeintrag und permanente Störungen nach sich zieht. Weitere bei den Untersuchungen beobachtete Schadfaktoren sind landwirtschaftliche Ablagerungen (Riegel bei Neresheim; Fleinheim) wie Misthaufen oder Ernterückstände, die besonders gerne im für die Landwirte wertlosen „Ödland“ Magerrasen vorgenommen werden. Ein Teil der Flächen, besonders in Naturschutzgebieten oder ASP-Flächen (Artenschutzprogramm Baden-Württemberg), wird zwar gelegentlich durch Entbuschung gepflegt, eine Verfilzung wird damit aber kaum verhindert. Dazu wird diese Pflege oft nur auf Teilflächen realisiert, so daß der Magerrasenanteil des betreffenden Gebietes kontinuierlich schrumpft (Hirschhalde). Stellenweise wird auch auf den Protest der unaufgeklärten Bevölkerung Rücksicht genommen, die in übertriebenem Gehölzschutz (WEIDEMANN 1995) durchgreifende Maßnahmen zu verhindern sucht.

Der wichtigste Gefährdungsfaktor ist heute aber der Rückgang der Wanderschäferei. Im Kreis Heidenheim sieht es hier dank der Unterstützung auch staatlicher Stellen noch etwas günstiger aus als in anderen Gegenden. Trotzdem hat sich die Beweidungsintensität an allen

noch in der Nutzung befindlichen Flächen bereits merklich verringert. Als Folge nehmen schleichend die mageren Flächen mit hohem Offenboden- und Skelettanteil durch Verwachsung und Verfilzung ab. Nachdem in der Folge des Beweidungsrückgangs zunächst wegen einer Abnahme der Störungen wie dem Verbiß von Raupennahrungs- und Nektarpflanzen alle Arten günstigere Bedingungen vorfinden und dementsprechend häufiger werden, kommt es beim zunehmenden Verlust der wichtigen xerothermen, mageren Bereiche zu einem stark ansteigenden Aussterben anspruchsvollerer Arten, die solche Stellen als Larvalhabitat benötigen.

#### 4.7.2 Schutzerfordernisse

Besonders wichtig für die Artendiversität ist ein ausreichendes Netz an Magerrasen. Nur dann besteht die Wahrscheinlichkeit, einen größeren Prozentsatz an stenöken Arten langfristig zu erhalten. Bei einer Isolierung vieler Flächen durch zu große Entfernung wird eine Metapopulationsdynamik verhindert und das Aussterberisiko stark erhöht.

Ein weiterer Rückgang der Magerrasen im Untersuchungsgebiet sollte somit unbedingt verhindert werden. Mittel der Wahl ist eine Fortführung der Beweidung mit zusätzlicher gelegentlicher Entbuschung. Fällt die Beweidung aus, muß häufiger gepflegt werden. Dabei sollte der Verfilzung durch Herbstmahd mit Abfuhr des Mähgutes etwa maximal der Hälfte der Fläche alle zwei Jahre wenigstens in Kleingebieten wie dem Kunigundenbühl entgegengewirkt werden. Gerade diese Fläche ist im Lauf des Untersuchungszeitraumes zunehmend stärker verfilzt (Nährstoffakkumulation), was sich bereits in einem mutmaßlichen Verschwinden einiger Arten wie *Glaucopsyche arion*, *Z. purpuralis* und *Z. carniolica* äußert. Ansatzweise wird eine solche, der Verfilzung entgegenwirkende Pflege bereits durch die Gemeinde Nattheim praktiziert.

Wichtigste Voraussetzung für Schutzmaßnahmen ist eine genaue Kenntnis des Arteninventars aller oder zumindest der „wichtigsten“ taxonomischen Gruppen und der relevanten Strukturen im Habitat. Idealerweise sollten dann die nötigen Pflegemaßnahmen durch informiertes Personal durchgeführt werden, damit nicht wie am Moldenberg im Herbst 2001 trotz vorhergehender Begehung und Absprache durch Lagern des Einschlagholzes an der falschen Stelle die eigentlichen Schutzziele ausgerottet werden (*Myrmeleotettix maculatus*).

In speziellen Fällen sollte die Beweidung an die Bedürfnisse mancher stenöker Arten angepaßt werden, besonders in flächenmäßig enger begrenzten Habitaten. Bei den Widderchen ist dies vor allem für *Z. minos* notwendig, etwa in den Gebieten Ramenstein, Hetzenacker, Stürzlesberg und Wartberg. Durch ihre dargelegte Bindung an früh blühende, meist zu dieser Zeit noch spärlich vorhandene Nektarpflanzen (*Echium*, *Dianthus*, *Knautia*) kann sie durch eine intensive Beweidung stark geschädigt werden, wie 2001 besonders am Ramenstein zu beobachten war. Hier sollte zwischen dem 10. Juni und Mitte Juli keine Beweidung erfolgen. Weiterhin sind kleine Gebiete extensiver zu beweidern als große, da sich in letzteren immer Säume mit Blüten als Rückzugsflächen finden. Fehlen nämlich nach einer Beweidung Blüten weitgehend, kommt es zu einer kürzeren Lebensdauer der Individuen oder mangels Biotopakzeptanz zu einer verstärkten Abwanderung, wie anhand der Beobachtungen für Ramenstein und Mühlhalde 2001 angenommen werden muß. Ebenso ist ein besonderer Schutz für Arten zu empfehlen, deren Ansprüche im Gebiet nur kleinflächig erfüllt werden. So sollten für *Z. ephialtes* Säume mit Kronwicken (*Coronilla varia*) erhalten bleiben, etwa am Benzenberg oder im Eselsburger Tal (Mühlthal). Mit der geplanten Bebauung des Ostteils des Wartbergs wird die auf der Alb gefährdete Art hier aussterben.

Obwohl grundsätzlich alle noch vorhandenen Magerrasen schutzwürdig sind, können doch Unterschiede in der Gesamtbedeutung erkannt werden. Besonders wichtig sind Gebiete mit hohem Anteil an stenöken Arten. Dies betrifft beispielsweise Vorkommen von *Z. minos* und starke Populationen von *Z. carniolica* wie beispielsweise Hirschhalde, Steinenfeld, Wartberg, Ramenstein und Stürzlesberg. Diese beiden Arten können im Untersuchungsgebiet als Zielarten (vgl. WALTER et al. 1998) unter den Widderchen verwendet werden, bei denen Populationen vordringlich zu schützen sind, um mit ihnen gleichzeitig eine große Zahl weiterer Arten zu erhalten. Hier sind aber nicht allein die Widderchen, sondern auch andere Gruppen zu berücksichtigen. So ist der Irpfl heute für Widderchen von untergeordneter Bedeutung, weist dafür aber eine qualitativ wie quantitativ äußerst hochwertige Heuschreckenzönose auf. Eher mesophile, bereits verfilzende Bereiche wie die Geißkancel sind weit weniger hoch einzustufen, wenn sie auch als Trittsteinbiotope bei der Verhinderung von genetischen Isolationseffekten trotzdem eine Rolle spielen.

Weiterhin kann eine Einteilung nach isolierten Habitaten oder in Verbund stehenden, mit hoher Wahrscheinlichkeit von Metapopulationen besiedelten „patches“ getroffen werden. Metapopulationen etlicher Arten liegen im Untersuchungsgebiet vermutlich im Lindletal vom Moldenberg bis Nattheim, in der Lonetal-Flächenalb von Herbrechtingen bis Hermaringen, im Südwesten von Mergelstetten (Rappeshalde bis Kunigundenbühl) und um Steinheim vor. Lokale Aussterbe- und Rekolonisierungsprozesse können zwar nur schwer nachgewiesen werden. Es sprechen aber einige Indizien für ein Vorliegen von echten Metapopulationen. So findet sich *Z. minos*, aber auch *Spiris striata* (Arctiidae) oder *Eilema lutarella* (Arctiidae) auf allen Heiden im Lindletal. *Zygaena minos* konnte aber an Geißkancel und Reibertal nur 2000 nachgewiesen werden, so daß die Art vermutlich an diesen für sie suboptimalen Stellen nur durch Zuwanderung aus besseren Gebieten (Ramenstein, Stürzlesberg) überleben kann. Bei Mergelstetten wäre das Aussterberisiko auf den sehr kleinen Flächen bei einer Isolation sehr groß, so daß dann kaum fünf oder sechs Rotwidderchenarten nachweisbar wären. Als Beispiel für lokales Aussterben verschwanden *Z. viciae* und *Z. loti* nach 1998 an der Rappeshalde und *Z. purpuralis* und *Z. carniolica* ab 2000 am Kunigundenbühl. In der Lonetal-Flächenalb liegen als Indiz fluktuierende Populationen von *Chazara briseis*, *Hipparchia semele* (beide Nymphalidae) und *Carcharodus alceae* (Hesperiidae) vor. Die ersteren beiden finden sich zum Beispiel nur selten und jährlich am Wartberg. Als besonders schutzwürdig sind nun einerseits Habitate zu betrachten, die wie bei Mergelstetten einen Verbund aus allesamt allein nicht überlebensfähigen Populationen bilden. Gehen hier nur eine oder zwei Flächen verloren, so kann dies katastrophale Auswirkungen auf die übrigen haben. Andererseits sind in anderen Metapopulations-Konstellationen wie im Lindletal besonders die source-Populationen schutzbedürftig.

Schließlich sollten Einzelflächen nicht weiter als drei Kilometer voneinander entfernt sein, weil sonst der Individuenaustausch unterbunden wird. Vernetzungsmaßnahmen durch Anpflanzen von Hecken sind für Magerrasenbewohner sinnlos, da sich auf den überdüngten Standorten keine für die Tiere nutzbaren, mageren Säume oder dergleichen entwickeln. Hier hilft allein der Erhalt auch kleinflächiger, noch vorhandener Magerrasen. Bei weitgehend flugunfähigen Arten wie vielen Heuschrecken, ist zumal ohne die Wanderschäferrei eine wohl irreversible Isolierung der verbliebenen Vorkommen bereits heute in vielen Fällen erreicht, so daß ein weiterer Artenschwund langfristig leider unausweichlich ist. In diesem Sinne sollte auch die Isolierung durch einschließende Baugebiete zukünftig verhindert werden, wie auch der gesamte Flächenverbrauch des Menschen verringert werden müßte. Man muß leider skeptisch sein, ob dies bei der immer stärker rein ökonomisch ausgerichteten Handlungsweise der Verantwortlichen auch nur ansatzweise realisiert werden kann.

## 5. Zusammenfassung/Summary

Zwischen 1998 und 2001 wurden insgesamt 31 Kalkmagerrasen auf der östlichen Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg) auf ihr Vorkommen an Rotwidderchen (*Zygaena*-Arten), weiteren Insekten- und Rote-Liste-Pflanzenarten hin untersucht. Mittels einer Transektmethode wurden die relativen Abundanzen, die Phänologie und das Blütenbesuchsverhalten der Widderchen festgestellt. Mit Hilfe einer Gebietsanalyse für abiotische (Neigung, Exposition, Offenboden- und Skelettanteil etc.) und biotische (Nahrungspflanzen) Faktoren ließen sich auf 60 Teilflächen die Bedingungen für individuenreiche Populationen der jeweiligen Widderchenarten erfassen. 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. Durch ein Markierungsexperiment an *Z. minos* und *Z. purpuralis* konnten tiefere Einblicke in deren Populationsdynamik und Mobilität gewonnen werden.

Nach den Ergebnissen liegt eine phänologische, räumliche und nahrungsbiologische Einnischung der neun nachgewiesenen Widderchenarten innerhalb der Kalkmagerrasen vor. Die phänologische Einnischung äußert sich in unterschiedlichen Flugzeiten, wobei frühe Arten wie *Zygaena minos* und *Z. loti* im Juni und Juli erscheinen, mittelspäte Arten wie *Z. viciae* und *Z. purpuralis* im Juli bis Mitte August und späte von Mitte Juli bis teils Anfang Oktober, so *Z. filipendulae*. 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 freibaktiv, während sich diejenigen von *Z. filipendulae* größtenteils erst von Mitte April bis Mai aus dem Dormanzstadium häuten. Eine wichtige Größe ist hierbei die Mindestentwicklungszeit der einzelnen Arten unter mitteleuropäischen Klimabedingungen. Nur wenn diese kürzer als die Vegetationsperiode ist, ist eine anderen Limitierungsfaktoren folgende Verschiebung der Phänologie nach vorn oder hinten möglich. Im Untersuchungsgebiet weist vor allem *Z. carniolica* eine lange Entwicklungszeit auf. Andere Arten wie *Z. minos* und *Z. filipendulae* verbringen hingegen etwa zwei Monate der Vegetationsperiode in Diapause. Diese Befunde sind auch wichtig im Zusammenhang mit veränderten Phänologien in anderen Bereichen Mitteleuropas und sollten hier noch weiter untersucht werden.

Zudem ist eine räumliche Einnischung verwirklicht. Diese zeigt sich in unterschiedlicher Nutzung der Vegetationseinheiten der Magerrasen. So lassen sich Saumarten wie *Z. transalpina*, *Z. viciae* und *Z. ephialtes* von Arten magerer, offener Bereiche wie besonders *Z. carniolica* unterscheiden. Auch innerhalb der beiden Extreme findet eine weitere Feineinnischung nach dem Xerothermiegrad statt. *Zygaena viciae* bevorzugt mesophile Bestände, *Z. ephialtes* hingegen trocken-heiße. Überall auftreten kann dagegen die sehr euryöke *Z. filipendulae*. Ein Teil dieser Einnischungsphänomene beruht auf direkten Faktoren wie dem gehäuftem Vorkommen der Raupennahrungspflanze in bestimmten Beständen (*Z. ephialtes*, *Z. transalpina*) oder dem Verhalten von Larven und Imagines (*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 wesentlich stärker auf südexponierte, magere Lagen mit xerothermem Mikroklima beschränkt als solche mit kürzerer. *Zygaena filipendulae*, *Z. loti* oder *Z. purpuralis* finden sich auch in ungünstigeren Lagen, etwa an NW-Hängen. Eine Ausnahme bildet nur *Z. minos*, die trotz kurzer Entwicklungszeit fast nur an Südhängen auftritt. Hier scheint der sehr frühe Aktivitätsbeginn bereits Mitte März mit Austrieb der ersten Blättchen der Nahrungspflanze und die schnellere Entwicklung mit zumindest teilweise einer Häutung weniger im Frühjahr von Vorteil zu sein in Zusammenhang mit einem früheren Flugbeginn als bei *Z. purpuralis*.

Die nahrungsbiologische Einnischung zeigt sich in einer Kophänologie der Widderchen und ihrer wichtigsten Nektarpflanzen in den Gebieten. Die ersten Widderchen erschienen mit dem Aufblühen von *Knautia arvensis*, *Dianthus carthusianorum* und *Echium vulgare*. Zur Zeit der höchsten Widderchenabundanzen Ende Juli und Anfang August herrschte auch die größte Blütendichte. Hier sowie später war vor allem *Scabiosa columbaria* von großer Bedeutung. Präferenzen innerhalb der typischen Widderchenblüten sind hauptsächlich durch unterschiedliche Lebensraumansprüche der Widderchen und daraus resultierende, verschiedenen Artspektren der Blütenpflanzen bedingt. Als limitierenden Ressourcen treten Nektarpflanzen somit besonders zu Anfang der Flugzeit auf. Zur Hauptflugzeit Mitte Juli bis Mitte August sind sie nur in blütenarmen Gebieten relevant. Hier sind dann im Gegensatz zu blütenreichen Flächen keine individuenreichen Populationen sich phänologisch überschneidender Arten möglich.

Im Larvalstadium sind synphäne Arten nahrungsbiologisch getrennt, so *Z. filipendulae* und *Z. transalpina*. Phänologisch getrennte Arten wie *Z. loti* und *Z. transalpina* können hingegen dieselbe Nahrungspflanze nutzen. Daß hierbei aber Koexistenzstrategien zur Konkurrenzvermeidung eine Rolle spielen, ist eher unwahrscheinlich, da Raupennahrungspflanzen meist in solchen Dichten auftreten, daß ein Mangel durch Ausbeutung innerhalb der *Zygaena*-Arten nicht beobachtet werden konnte. Zudem wird die Widderchendichte neben der Ressourcenverfügbarkeit wesentlich stärker vom Witterungsverlauf und ganz besonders von der Parasitierung limitiert.

Die untersuchten Widderchen wiesen eine sehr starke Populationsdynamik auf, was sich in einer mittleren Verweilzeit der Tiere von nur um vier Tagen im Vergleich mit der theoretisch etwa dreiwöchigen Lebenserwartung äußert. Verantwortlich dafür ist eine hohe Verlustrate durch Prädatoren und die Witterung und eine vermutlich hohe Abwanderungsrate. Die maximal beobachteten Austauschentfernungen betragen um 2,5 km Luftlinie, so daß von einer genetischen Isolation von Populationen ab einer Entfernung von drei bis vier Kilometern zu weiteren besiedelten Standorten auszugehen ist. Dies ist bei der Naturschutzplanung zu berücksichtigen.

Bedroht sind die Widderchen und mit ihnen die gesamte Biozönose der Kalkmagerasen 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.

## Summary

A study on the regional ecology of nine sympatric and partly abundant species of burnet moths (Lepidoptera: Zygaenidae) was carried out between 1998 and 2001 at altogether 31 (1998 and 1999 only seven sites) lime-stone habitats (calcareous heathland, old quarries) of the Swabian mountains („Schwäbische Alb“, Baden-Württemberg, southern Germany) in order to reveal possible niche separations and their mechanisms.

These habitats which vary in size, exposition, slopiness, vegetation, portion of stones and rocks and management (sheep grazing) were divided into 60 more or less homogenous 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. Further an analysis of the biotic resources (larval and imaginal foodplants) and the abiotic factors (e.g. exposition, slopiness) in correlation with the occurrence and abundance of each of the nine species was worked out using a rank system for the factors ranging from one (e.g. little size,

almost no stones, no grazing, northern to northwestern exposition, plain) to four (very slopy, southern exposition, large size, many shrubs). Additionally the preimaginal stages were studied by breeding under artificial and semi-natural conditions and by intensive field investigations in order to reveal their phenology and especially dormance behaviour. By a mark-recapture experiment with *Zygaena minos* and *Z. purpuralis* the population dynamics and mobility of these species were investigated at seven neighboured sites.

The results indicate a phenological, spatial and food biological separation of the nine species of *Zygaena* within the calcareous habitats. The species have different flight periods. The early *Z. minos* and *Z. loti* appeared in June and could be found mostly until July. *Zygaena purpuralis*, *Z. lonicerae*, *Z. viciae* and *Z. ephialtes* were on the wing from early July to the mid of August, whereas *Z. carniolica*, *Z. transalpina* and *Z. filipendulae* as late species flew from mid of July to early September, the latter sometimes even to October. The sibling species *Z. minos* and *Z. purpuralis* were relatively separated. The first flew for about three weeks for its own, being then accompanied by the latter only for ten days in maximum. In this overlapping period one could find mostly old individuals of *Z. minos* which had already copulated and first fresh males of *Z. purpuralis*.

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 overwintering instars have influence on the flight period. The separation of *Z. minos* and *Z. purpuralis* is a result of slightly earlier beginning of activity of most larvae of *Z. minos*, a faster development and an often additional moult of *Z. purpuralis* which furthermore hibernates only partly in L4.

The spatial separation is revealed by the habitat analysis. *Zygaena viciae* and probably (low data) *Z. lonicerae* inhabit more mesophile, filthy and less grazed habitats and show no correlation with the exposition nor the slopiness. The more xerothermic *Z. ephialtes* and *Z. transalpina* are more limited in distribution by their local larval host plants *Coronilla varia* and *Hippocrepis comosa* respectively then any of the other species the host plants of which are abundant at nearly all sites.

*Zygaena carniolica* is the most xerothermic species inhabiting significant south facing slopes which can be heavily grazed and are often very stony and dry. Abundant populations of *Z. minos* were also limited to south or southwest facing slopes but do not show any correlation to stony habitats.

The remaining *Z. loti*, *Z. filipendulae* and *Z. purpuralis* can be found at nearly every site in the study area, the first cumulating at more filthy but xerothermic places with low grazing such as abandoned quarries and the others at south facing slopes with sparse vegetation partly due to grazing.

The species are also separated in respect to food biology. Species with similar flight time use different larval hostplants. *Zygaena minos* develops on *Pimpinella saxifraga*, whereas *Z. loti* uses *Hippocrepis*, *Coronilla* and *Onobrychis*. *Zygaena filipendulae* feeds on *Lotus corniculatus* and *Z. transalpina* (ssp. *hippocrepididis*) on *Hippocrepis comosa* and occasionally on *Coronilla varia*. Species with different flight periods sometimes use the same plants, e.g. *Z. loti* and *Z. transalpina*. But *Z. filipendulae* and *Z. carniolica* both feed on *Lotus* and have a similar flight time. In these species a relative separation of about three weeks is realized. Last-instar larvae of the latter can be found from End of May to early July whereas larvae of *Z. filipendulae* reach maturity mainly from End of June to early August.

The phenology of the whole genus *Zygaena* is strongly correlated with the phenology of the favoured nectar plants. The early species appear shortly after the first *Knautia arvensis*, *Echium vulgare* and *Dianthus carthusianorum* began flourishing. Especially the stenanthous *Z. minos* is additionally limited by the occurrence of these three plants. The highest abundance of *Zygaena* sp. can be observed at the End of July to early August where there is a peak in availability of nectar spending plants such as *Origanum vulgare*, thistles (*Carduus*, *Cirsium*) and especially *Scabiosa columbaria* which can reach very high abundance at many localities at the End of July to early September or even later.

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. *Zygaena carniolica* ends diapause in early April and the next generation's offspring enters dormance at September or early October. The species is restricted to xerothermic, south facing slopes where the vegetation period (or temperature sum) is longer than at plain localities. At cooler places the long year mean of temperature may not be sufficient to allow the needed minimum success of reproduction.

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* spends one or two months of the vegetation period inactive in diapause in spring, whereas *Z. loti* does the same in late summer/autumn. Outside the study area these two species can have very different flight times probably also according to the availability of nectar resources. *Zygaena filipendulae* also shows a great variability with individuals terminating diapause over a period of at least seven weeks. This leads in addition to possible different speed of development and different diapause instars (L2-L6) to an extended flight period of three months and more at favourable conditions of nectar availability. Would this species end diapause at for example early April like *Z. carniolica*, most imagines would appear in June to July where nectar resources are still scarce at most of the favoured xerothermic localities where there is an abundance of *Lotus corniculatus*. In other, even cooler regions, there are different phenologies of nectar plants. At low altitudes of the bavarian Alps (lower than 1000 m NN) *Z. filipendulae* is on the wing mainly from June to early August. This is more than four weeks earlier than in the study area. Here larvae terminate diapause much earlier in March and April.

*Zygaena minos* is the only species with a short development time but a missing variability in ending of diapause. The reason could be a need to fly before its sibling species *Z. purpuralis* in order to avoid problems in mating success.

The species are additionally limited in their abundance through weather conditions and especially the diverse parasitoids. In some investigated Populations of *Z. transalpina* and *Z. filipendulae* alone the chalcidid wasp *Brachymeria intermedia* was able to cause a population breakdown within about two years. As a conclusion, the zygaenid species are limited by resources, climate and parasitoids, whereas competition can almost be neglected. The species show no direct interference competition behaviour and exploitative competition is not relevant in most years. The resources of nectar plants determine the possible maximum abundance of individuals and the possibility of abundant populations of phenological overlapping species. The availability of larval host plants and the abiotic factors (e.g. exposition) determine the qualitative composition of the biocenosis. In years with favourable weather conditions the abundance can increase significantly so that competition may become relevant for a short period. A hint for this is the observation that in years with abundance peaks the species visit additionally suboptimal nectar plants such as *Plantago media*, *Veronica teucrium* and *Odontites vulgaris* which are neglected normally. This indicates that the resources of favoured plants are too low compared with the population density of the moths. But the

increasing numbers of larvae let the abundance of parasitoids increase very fast. Thus the abundance of the zygaenids is reduced drastic within a short period. As a conclusion competition, whether intraspecific or interspecific, obviously only has a little influence.

The surveyed *Z. minos* and *Z. purpuralis* show a great population dynamic which can be seen in a very short mean time of presence in the habitat of only about four days in spite of a theoretical life expectancy of the imagines of three weeks. This is due to heavy losses because of predation (e.g. spiders), bad weather conditions and a probably high emigration rate. The observed maximum dispersion distance was 2,5 kilometers (air line) which was only reached by very few individuals. Thus a distance of more than three or four kilometers may lead to total genetic isolation. This has to be taken into consideration as far as nature preservation is concerned.

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

## **6. Farbtafeln**

### **Tafel 1**

1a: Westexponierte Heide am Kunigundenbühl (Mergelstetten, Juli 1998). Aspektbestimmend ist eine höherwüchsige Saumvegetation mit *Anthericum ramosum* (weiß) und *Buphthalmum salicifolium* (gelb). Häufig waren hier *Zygaena transalpina* und *Z. filipendulae*. Zum Zeitpunkt der Aufnahme wurden von beiden Arten neben Raupen und Kokons bereits erste Falter beobachtet.

1b: Südexponierte Wacholderheide an der Hirschhalde (Schnaitheim, Juni 2000). Neben mageren, steinigen Bereichen sind gehölzreiche Abschnitte mit Saumvegetation zu erkennen. Individuenreich kamen *Z. transalpina*, *Z. purpuralis*, *Z. loti*, *Z. carniolica* und *Z. filipendulae* vor, daneben auch *Z. viciae* und *Z. ephialtes*.

1c: Südwestexponierter, magerer und gehölzärmer Magerrasen mit Felsen an der Eschklinge (Hermaringen, August 2000). Ein kleinerer Teil der Fläche wurde mit Ziegen in Koppelhaltung beweidet. An Widderchen kamen besonders *Z. filipendulae* und *Z. carniolica* vor, daneben *Adscita geryon* und einzeln *Z. purpuralis*.

### **Tafel 2**

2a: Südexponierte, stärker beweidete Wacholderheide mit flachen Felsen und Schotter im Mühlthal (NSG Eselsburger Tal, Herbrechtingen, Anfang August 1998). Die Fläche wurde von *Z. filipendulae*, *Z. purpuralis*, *A. geryon* und *Z. carniolica* in stärkerer Dichte besiedelt und *Z. minos* und *Z. loti* in geringerer.

2b: Kaum geneigte, mesophile und nur schwach beweidete Wacholderheide mit dichter, höherwüchsiger Vegetation an der Mühlhalde (Steinheim, Juli 2000). Dominant war *Z. viciae*. Seltener kamen *Z. filipendulae*, *Z. purpuralis* und *Z. loti* vor.

2c: Steiler, südexponierter Magerrasen am Ramenstein (Nattheim, Mitte Mai 2000) in unmittelbarer Waldnähe. Erkennbar sind Bereiche mit offenem Boden und kleineren Felsen, daneben aber auch große Flächen mit dichter Vegetation. Sehr individuenreich war *Z. purpuralis*. Nicht selten flogen daneben *Z. minos* und *Z. filipendulae*. Kurz nach Austrieb der Buchen waren die Raupen von *Z. minos* bereits voll ausgewachsen, während die meisten Larven von *Z. filipendulae* eben erst die Diapause beendet hatten.

Tafel 1



## Tafel 2



### Tafel 3

3a: Typisch gezeichnete Raupe von *Z. carniolica* im letzten Stadium. Erkennbar sind schwarze Flecke in Dreiecksform. Eselsburger Tal (Herbrechtingen), 13.VI.1999.

3b: Larve von *Z. carniolica* im letzten Stadium mit reduzierter schwarzer Zeichnung. Die Dreiecksflecken sind nur mehr schwächer und vereinzelt zu erkennen. Wartberg (Herbrechtingen), 17.VI.2000.

3c: Larve von *Z. carniolica* im letzten Stadium mit stark reduzierter schwarzer Zeichnung. Anstelle der Dreiecksflecke sind nur mehr Doppelpunkte zu erkennen, so daß das Tier sehr ähnlich aussieht wie die Raupe von *Z. loti* (3d). Wartberg (Herbrechtingen), 15.VI.2001.

3d: Typisch gefärbte, ausgewachsene Raupe von *Z. loti*. Von schwach gezeichneten Larven von *Z. carniolica* (3c) sind die Tiere ohne Übung nicht leicht zu trennen. Das beste Merkmal ist die Lage der Doppelpunkte. Während diese bei *Z. loti* dicht nebeneinander in zwei verschiedenen Segmenten liegen, befinden sich die etwas weiter getrennten, die Doppelpunkte bildenden Flecke bei *Z. carniolica* im selben Segment. Bei letzterer ist der hintere Punkt eines Segments nach vorne in die Mitte des Rings gerückt. Wartberg (Herbrechtingen), 16.V.2001

3e: Gelbe Raupe von *Z. loti* im letzten Stadium. Die relativ seltene, abweichende Färbung dürfte auf den überwiegenden Fraß an Blüten von *Hippocrepis comosa* zurückzuführen sein, an denen das Tier entdeckt wurde. Wartberg (Herbrechtingen), 14.VI.2001.

3f: Typisch gefärbte, ausgewachsene Raupe von *Z. transalpina*. Die hippocrepidoiden Populationen des Untersuchungsgebiets haben meist nur eine sehr schwache Rückenlinie. Hirschhalde, 9.VII.1999.

3g: Ausgewachsene Larve von *Z. transalpina* mit stärker ausgeprägter schwarzer Rückenlinie. Eine an der Hirschhalde gefundene Larve (20.VII.2000) wies sogar eine transalpinoide, durchgehende Rückenlinie auf. Irpfl-Westhang (Giengen), 2.VIII.2000.

3h: Larve von *Z. filipendulae* im letzten Stadium. Erkennbar sind die nach mechanischer Reizung aus kutikulären Hohlräumen austretenden Tropfen einer Blausäure erzeugenden Flüssigkeit. Nach einiger Zeit werden diese teilweise wieder reabsorbiert. Kunigundenbühl (Mergelstetten), 11.VII.2001.

Tafel 3



## Tafel 4

4a: Phänologievergleich von *Z. minos* und *Z. purpuralis*. Am 8.IV.2001 wurden am Ramenstein (Nattheim) zwei *Z. minos*-Larven von acht Millimeter Länge gefunden (rechtes Tier), während von acht Raupen von *Z. purpuralis* sieben nur vier bis fünf Millimeter und eine 5,5 (linkes Tier) lang waren. Besonders vor einer Häutung ist ein Teil der sonst in diesem Stadium mehr schwarzgrauen *Z. purpuralis*-Larven weißlich-gelb aufgehellt, aber dabei stets gelber als *Z. minos*.

4b: Phänologievergleich von *Z. minos* und *Z. purpuralis*. Am 10.V.2001 waren von sechs gefundenen *Z. minos*-Raupen am Ramenstein bereits fünf im letzten Stadium mit gut 15-16 Millimetern (linkes Tier) und eine bei der letzten Häutung. Von drei am selben Tag gefundenen, schwefelgelben *Z. purpuralis* maßen zwei Tiere sieben Millimeter und eines neun (rechtes Tier). Auch acht Tiere am 16.V.01 vom gleichen Fundort waren unter einen Zentimeter groß.

4c: Larve von *Z. filipendulae* im vorletzten Stadium. Deutlich erkennbar ist ein großes, weißes Tachiniden-Ei. In der Folge bohrt sich die geschlüpfte Fliegenlarve in die Raupe ein, um sie als Parasitoid gegen Ende der eigenen Entwicklung abzutöten. Benzenberg (Hermaringen), 21.VII.2001.

4d: Von Braconiden parasitierte Raupe von *Z. carniolica*. Die Wespenmaden haben den Wirt verlassen und sich daneben in weißen Kokons verpuppt. Wartberg (Herbrechtingen), 19.VI.2001.

4e: Kokon von *Z. filipendulae* mit typischem, runden Ausschlußfloch der Chalcididen *Brachymeria intermedia*. Dieser Parasitoid kann wie einige andere *Z. transalpina* und *Z. filipendulae* sowie wahrscheinlich weitere Widderchenarten so stark befallen, daß ein spürbarer Einfluß auf deren Abundanz gegeben ist. Hetzenäcker (Nattheim), 17.IX.2000.

4f: *Brachymeria intermedia*, eine vergleichsweise große Erzwespe. Dieser Parasitoid entwickelt sich einzeln unter anderem in Larven von *Z. filipendulae* und verpuppt sich frei innerhalb der abgetöteten Puppe des Wirts. Hetzenäcker (Nattheim), ex pupa *Z. filipendulae*, IX.2000.

4g: Stark aufgehelltes Männchen von *Z. carniolica*. Solche Individuen wurden besonders am Wartberg gelegentlich beobachtet und erinnern an die Färbung südöstlich verbreiteter Unterarten. Wartberg (Herbrechtingen), VIII.2000.

4h: Aufgeschnittener Kokon von *Z. carniolica* mit einer Ichneumoniden-Larve. Diese hatte seit Juni 2001 völlig ausgewachsen in dem durch eigenes Gespinnst verstärkten Widderchen-Kokon überwintert und verpuppte sich erst im Frühjahr. Benzenberg (Hermaringen), ex pupa *Z. carniolica*, Ende II. 2002.

Tafel 4



## Tafel 5

5a: Fensterfraß von *Z. carniolica* vor der Überwinterung. Hirschhalde (Schnaitheim), 26.IX.2001.

5b: Diapause-Larven (erste Überwinterung) von *Z. filipendulae* in drei verschiedenen Stadien: L3<sub>D</sub>, L4<sub>D</sub>, L5<sub>D</sub> (von rechts). Zucht ex Wartberg, XI.2001.

5c: Weitgehend ausgewachsene Raupen von *Z. purpuralis*. Bei extremer Hitze flüchteten sich die sonst versteckt bodennah lebenden Tiere nach Art der Heideschnecken auf Halme, um der tödlichen Aufheizung am Boden zu entgehen. Moldenberg (Schnaitheim), 6.VI.1998.

5d: Mittels Lackstift markierte Tiere von *Z. purpuralis* am Ramenstein, 17.VII.2001.

5e: „Parkstation“ von *Z. purpuralis* an einem Blütenstand von *Carduus acanthoides*. Die Tiere sammeln sich abends wie die von *Z. carniolica* und gelegentlich auch *Z. loti* und *Z. minos*, um die Nacht zu verbringen. Hetzenäcker (Nattheim), 19.VII.2000.

5f: Von Wespenspinne erbeutete Imagines von *Z. purpuralis*. An zwei Tieren ist eine Markierung erkennbar. Wenn die kurzlebigen Spinnenetze mechanisch zerstört werden, bleiben die vertrocknet-mumifizierten Falter oft tagelang mit den Resten des Netzes an den Aufhängungspunkten wie Grasblüten erhalten. Südliche Bläßhalde (Heidenheim), 29.VII.2001.

Tafel 5



## Tafel 6

6a: Kopula von *Z. minos*. Äußerlich ist die Art nicht von der ebenfalls ein Streifenmuster tragenden *Z. purpuralis* (Tafel 5d-e) zu unterscheiden. Steinenfeld (Gerstetten), 20.VI.01.

6b: *Zygaena viciae* zeichnet sich durch fünf Vorderflügelflecke, relativ dünne Beschuppung und die geringste Größe (Vorderflügelänge ca. 14-17 mm) aller im Gebiet vorkommenden Rotwiderchen aus. Wartberg, (Herbrechtingen), 4.VII.98.

6c: *Zygaena lonicerae* weist dasselbe Zeichnungsmuster wie *Z. viciae* auf, ist aber größer (Vorderflügelänge ca. 16-19 mm) und dichter beschuppt und besitzt dickere Antennen. Stürzlesberg, 5.VII.01.

6d: Bei *Z. carniolica* sind die roten Flecken aus den Vorderflügeln gelblich umsäumt. Hirschhalde (Schnaitheim), 2.VIII.99.

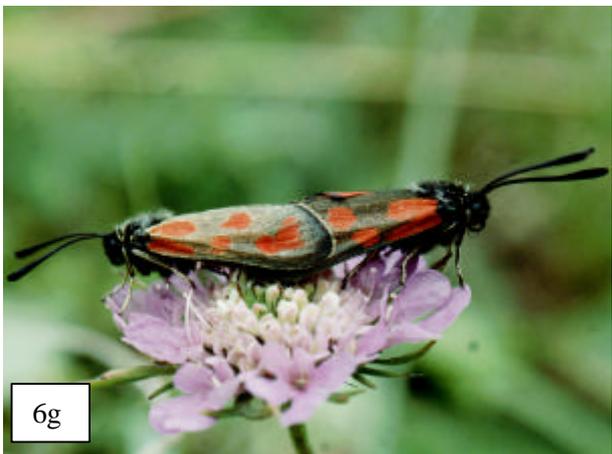
6e: *Zygaena transalpina* ist *Z. filipendulae* recht ähnlich. Meist sind die weißen Fühlerspitzen ein gutes Erkennungsmerkmal, ferner der Farbton der roten Vorderflügelflecken und einige weitere Eigenheiten. Bei abgeflogenen Faltern sind die roten Vorderflügelflecken beispielsweise weißlich aufgehellt, während dann bei *Z. filipendulae* besonders der Fleck 6 verblaßt, so daß die Art *Z. lonicerae* ähnlich werden kann. Kunigundenbühl (Mergelstetten), 18.VIII.00.

6f: Kopula *Z. ephialtes*-W X *Z. filipendulae*-M. Solche „Fremdkopulae“ sind bei etlichen Arten regelmäßig zu beobachten (vgl. HOFMANN 1994). *Zygaena ephialtes* weist als einzige im Untersuchungsgebiet vorkommende Art immer ein rotes Cingulum auf. Daneben sind wie bei *Z. transalpina* weiße Fühlerspitzen kennzeichnend. Moldenberg, 31.VII.01.

6g: Kopula von *Z. loti* auf *Scabiosa columbaria*. Kennzeichnend sind der oft beilförmig ausgebildete fünfte Fleck der Vorderflügel sowie die weißen Beine. Letzteres ist beim linken Tier, dem W, gut zu erkennen. Hirschhalde, 24.VI.98.

6h: Das Grünwiderchen *Adscita geryon* (hier ein W) weist eine ähnliche Körperform, aber eine gänzlich verschiedene Färbung auf. Eselsburger Tal, 22.VII.99.

Tafel 6



## 7. Literaturverzeichnis

- ABRAMSKY A, DYER MI, HARRISON PD (1979) Competition among small mammals in experimentally perturbed areas of the shortgrass prairie. *Ecology* 63: 1242-1247
- AISTLEITNER E (1990) Die Widderchen oder Blutströpfchen Vorarlbergs (Lepidoptera Zygaenidae). *Z Arb Gem Österr Ent* 42 (3-4): 77-92
- AISTLEITNER E (1998) Die Schmetterlinge Vorarlbergs 1. *Vorarlberger Naturschau* 5: 1-390
- BACH H (1972) Witterung und Klima des Kreises Ulm. Staatliche Archivverwaltung Baden-Württemberg, Band 1: 79-133
- BEGON M (1979) Investigating animal abundance: capture-recapture for biologists. Merseyside, Birkenhead, 97 pp
- BEINLICH B & PLACHTER H (eds) (1995) Schutz und Entwicklung der Kalkmagerrasen der Schwäbischen Alb. *Beih Veröff Naturschutz Landschaftspflege Bad-Württ* 83: 1-520
- BRAUN-BLANQUET (1951) Pflanzensoziologie. Springer, Berlin
- CRISPIN MJ, WARRINGTON S (1997) Aspects of the population ecology of *Zygaena filipendulae* (LINNAEUS) (Lepidoptera Zygaenidae). *Entomologist's Gazette* 48: 97-105
- DEMPSTER JP (1983) The natural control of populations of butterflies and moth. *Biological review* 58: 461-481
- DETZEL P (1998) (ed) Die Heuschrecken Baden-Württembergs. Ulmer, Stuttgart, 567 pp
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1998-2001) Monatlicher Witterungsbericht der Wetterstation Heidenheim/Brenz.
- EBERT G, RENNWALD E (1991) (eds) Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 1, 2. Tagfalter I, II. Ulmer, Stuttgart, 552 & 535 pp
- EBERT G (1994) (ed) Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 3, 4. Nachtfalter I, II. Ulmer, Stuttgart, 518 & 535 pp
- EBERT G (1997) (ed) Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 5, 6. Nachtfalter III, IV. Ulmer, Stuttgart, 575 & 622 pp
- EBERT G (1998) Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 7. Nachtfalter V. Stuttgart, Ulmer, 582 pp
- EBERT G (2001) Die Schmetterlinge Baden-Württembergs 8. Nachtfalter VI. Ulmer, Stuttgart, 541 pp
- FLEISCHLE J (1993) Geoökologische Einheiten im Naturschutzgebiet Eselsburger Tal und ihre Gefährdung durch den Menschen. *Karst und Höhle* 1993: 443-457

- FRANZL S, NAHRSTEDT A, NAUMANN CM (1986) Evidence for site of biosynthesis and transport of the cyanoglucosides linamarin and lotaustralin in larvae of *Zygaena trifolii* (Insecta Lepidoptera). *J Insect Physiol* 32: 705-709
- GEYER O, GWINNER M (1991): *Geologie von Baden-Württemberg.- 4. Auflage*, Stuttgart, Schweizerbart, 482 pp
- GUTIÉRREZ D, LEÓN-CORTÉS JL, MENÉNDEZ R, WILSON RJ, COWLEY MJR, THOMAS CD (2001) Metapopulations of four lepidopteran herbivores on a single hostplant, *Lotus corniculatus*. *Ecology* 82: 1371-1386
- HEINE S, NAUMANN CM (1993) Sexuelle Selektion und die Evolution tageszeitlich variierender Partnerfindungsmechanismen bei *Zygaena trifolii* (ESPER 1783) (Insecta Lepidoptera). *Mitt Dtsch Ges allg angew Ent* 8: 649-658
- HERMANN G (1998) Erfassung von Präimaginalstadien bei Tagfaltern. Ein notwendiger Standard für Bestandsaufnahmen zu Planungsvorhaben. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 30: 133-142
- 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
- HOFMANN A (1994) Zygaeninae. In: EBERT G (ed) *Die Schmetterlinge Baden-Württembergs* 3. Nachtfalter I. Ulmer, Stuttgart, pp 196-335
- JOLLY GM (1965) Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration stochastic models. *Biometrika* 52: 225-247
- KEIL T (1993) Beiträge zur Insektenfauna Ostdeutschlands: Lepidoptera – Zygaenidae. *Entomol Nachr u Ber* 37 (3): 145-198
- KÖNIGSDORFER M (1996) Autökologische Untersuchungen zum Vorkommen der Berghexe (*Chazara briseis*) am württembergischen Riesrand. Diplomarbeit, Universität Ulm, Abteilung für Ökologie und Morphologie der Tiere (unveröffentlicht), 103 pp + Anhang
- KOLLER T (1991) Ökologische Untersuchungen an zwei aufgelassenen Kalksteinbrüchen im Kreis Heidenheim. Diplomarbeit, Universität Ulm, Abteilung für Spezielle Botanik (Bio V) (unveröffentlicht), 100 pp + Anhang
- KREUSEL B (1999) Dispersionsdynamik von Widderchen zwischen verinselten Kalkmagerasen in Süddeutschland unter besonderer Berücksichtigung von Naturschutzaspekten. *Natur und Landschaft* 74 (6): 255-265
- KREUSEL B, BÖHMER J (1998) Populationsökologische Untersuchungen an Widderchenpopulationen der Schwäbischen Alb bei Blaubeuren (Lepidoptera Zygaenidae). *Nachr entomol Ver Apollo, N F* 18 (4): 341-372
- LÜTTMANN J (1987) Verteilung von Widderchenpopulationen (*Procis statices* L, *Zygaena filipendulae* L, *Zygaena meliloti* ESP in einem Lebensraummosaik. *Verh Ges f Ökol* 15: 359-364

- MATTERN H, MAUK, J, KÜBLER R (1992) Die Entwicklung der der Heiden im Regierungsbezirk Stuttgart während des letzten Jahrzehnts (1980/1990). Veröff Naturschutz Landschaftspflege Bad-Württ 67: 127-136
- MÜHLENBERG M (1993) Freilandökologie. Quelle & Meyer, Heidelberg Wiesbaden, 512 pp
- NAUMANN CM (1985) Zur Ökologie und Biologie von *Zygaena (Zygaena) christa* REISS & SCHULTE 1967. Nota lepid 8: 42-50
- NAUMANN CM (1988) Zur Evolution und adaptiven Bedeutung zweier unterschiedlicher Partnerfindungsstrategien bei *Zygaena trifolii* (ESPER 1783) (Insecta Lepidoptera). Verh Dtsch Zool Ges 81: 257-258
- NAUMANN CM (1990) Stammesgeschichtliche Rekonstruktion und ökologische Beziehungen der Organismen – Ansätze für interdisziplinäre Kooperation. Verh Dtsch Zool Ges 83: 291-301
- NAUMANN CM, OCKENFELS P, SCHMITZ J, SCHMIDT F, FRANCKE W (1991) Reactions of *Zygaena* Moths to Volatile Compounds of *Knautia arvensis* (Lepidoptera Zygaenidae). Entomol Gen 15: 255-264
- NAUMANN CM, NAUMANN S (1985) Zur morphologischen Differenzierung asiatischer Populationen des *Zygaena purpuralis*-Komplexes (Lepidoptera Zygaenidae). Entomofauna 6: 265-358
- NAUMANN CM, TARMANN GM, TREMEWAN WG (1999) The western palaeartic Zygaenidae. Apollo books, Stenstrup, 304 pp
- NAUMANN CM, TREMEWAN WG (1984) Das Biospecieskonzept in seiner Anwendung auf de Gattung *Zygaena* FABRICIUS 1775 (Insecta Lepidoptera Zygaenidae). Spixiana 7 (2): 161-193
- OCKENFELS P, NAUMANN CM, SCHMITZ J, SCHMIDT F, FRANCKE W (1990) Antennale Reaktionen von *Zygaena trifolii* (Lepidoptera Zygaenidae) auf Blüteninhaltsstoffe von *Knautia arvensis*. Verh Dtsch Zool Ges 83: 424
- POLLARD E (1977) A method for assessing changes in the abundance of butterflies. Biol Cons 12: 115-134
- PRINZ H-P, NAUMANN CM (1988) Optische Parameter bei der Partnerfindung von *Zygaena trifolii* (ESPER 1783) (Insecta Lepidoptera). Verh Dtsch Zool Ges 81: 258
- RAMMERT U (1992) The reaction of birds to the larval defensive system of *Zygaena trifolii* (ESPER 1783) (Lepidoptera Zygaenidae). In: DUTREIX C, NAUMANN CM, TREMEWAN WG (1992) Proceedings of the 4<sup>th</sup> Symposium on Zygaenidae Nantes 11-13 September 1987. Recent advances in burnet moth research (Lepidoptera Zygaenidae). Theses Zoologicae 19: 38-52
- REIFF W (1993) Geologie und Landschaftsgeschichte der Ostalb. Karst und Höhle 1993: 71-94

- REIß H, REIß G (1970) Die Zygaenen Südwestdeutschlands. Beiträge zur Insekten-Faunistik Südwestdeutschlands. Mitt ent Ver Stuttgart 5 (Sonderheft 6): pp 1-50
- SBN – SCHWEIZERISCHER BUND FÜR NATURSCHUTZ (ed) (1997) Schmetterlinge und ihre Lebensräume – Arten, Gefährdung, Schutz. Fotorotar, Egg, 679 pp
- SCHOENER TW (1983) Field experiments on interspecific competition. The American Naturalist 122: 240-285
- SEBALD O, SEYBOLD S, PHILIPPI G (eds) (1993) Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 1 + 2, Ulmer, Stuttgart, 624 + 451 pp
- SEBALD O, SEYBOLD S, PHILIPPI G (eds) (1992) Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 3 + 4, Ulmer, Stuttgart, 483 + 362 pp
- SEBALD O, SEYBOLD S, PHILIPPI G, WÖRZ A (eds) (1996) Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 5 + 6, Ulmer, Stuttgart, 539 + 577 pp
- SEBALD O, SEYBOLD S, PHILIPPI G, WÖRZ A (eds) (1998) Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 7 + 8, Ulmer, Stuttgart, 595 + 540 pp
- SEBER GAF (1965) A note on the multiple-recapture census. Biometrika 52: 259-259
- SETTELE J, FELDMANN R, REINHARDT R (eds) (1999) Die Tagfalter Deutschlands. Ulmer, Stuttgart, 452 pp
- SLATKIN M (1974) Competition and regional coexistence. Ecology 55: 128-134
- SMOLIS M, GERKEN B (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. Diplomarbeit, Universität Freiburg, Institut für Biologie I (unveröffentlicht), 174 pp
- TARMANN G (1975) Die Zygaeniden Nordtirols (Insecta Lepidoptera). Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum 55: 113-251
- THOMAS JA (1983) A quick method for estimating butterfly numbers during surveys. Biol Cons 27: 195-211
- TIMISCHL W (2000) Biostatistik. Springer, Wien New York, 340 pp
- TREMEWAN WG (1985) Zygaenidae. In: HEATH J, EMMET AM (eds) The moth and butterflies of Great Britain and Ireland 2. Colchester, pp 74-123
- TREMEWAN WG (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 a) Biozöologische Untersuchungen an sieben Halbtrockenrasenkomplexen im Raum Heidenheim (Baden-Württemberg). Diplomarbeit, Universität Ulm, Abteilung für systematische Botanik und Ökologie (Bio V) (unveröffentlicht), 125 pp + Anhang

WAGNER W (2002) Notizen zur Ökologie einer Population von *Zygaena transalpina* (ESPER 1803) im Feuchtbereich (Lepidoptera Zygaenidae). *Nachr ent Ver Apollo* 22: 193-196

WALTER R, RECK H, KAULE G, LÄMMLE M, OSINSKI E, HEINL T (1998) Regionalisierte Qualitätsziele, Standards und Indikatoren für die Belange des Arten- und Biotopschutzes in Baden-Württemberg. *Natur und Landschaft* 73: 9-25

WEIDEMANN H-J (1995) Tagfalter - beobachten, bestimmen. Naturbuch-Verlag, Augsburg, 659 pp

WEIDEMANN H-J, KÖHLER J (1996) Nachtfalter. Spinner und Schwärmer. Naturbuch-Verlag, Augsburg, 512 pp

WIPKING W (1985) Ökologische Untersuchungen über die Habitatbindung der Zygaenidae (Insecta Lepidoptera). *Mitt Münch Ent Ges* 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, pp 229-241

WIPKING W (1995) Influences of daylength 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, KURTZ J (2000) Genetic variability in the diapause response of the burnet moth *Zygaena trifolii* (Lepidoptera Zygaenidae). *J Insect Physiol* 46: 127-134

## 8. Anhang

### 8.1 Beschreibung der Untersuchungsgebiete mit Flächenunterteilung

Typische oder auch besondere Vertreter von Gefäßpflanzen, Heuschrecken, Bienen und Schmetterlingen sind zur besseren Charakterisierung der entsprechenden Flächen in Klammern angegeben.

**Mühlhalde** (eine Teilfläche) und **Schäfhalde** (zwei Teilflächen) bei Steinheim sind montane, teils bodensaure und steinarme typische Wacholderheiden (LSG), die neben viel *Juniperus* von einzelnen Bäumen (Kiefern, Fichten, Linden etc.) bestanden werden. Besonders der ausgedehnte Westhang der Schäfhalde (mit *Osmia inermis*, *O. xanthomelana*, *Psophus stridulus*, *Stenobothrus stigmaticus*) ist sehr mager und stärker von kalksteten Pflanzen besiedelt (*Hippocrepis comosa*, *Teucrium montanum*), während das etwas höherwüchsige und frischere Plateau wie auch die wenig geneigte, ähnliche Mühlhalde stärker acidophil geprägt sind (*Calluna vulgaris*, *Viola canina*, *Antennaria dioica*). An den Rändern beider Gebiete existieren ausgedehnte Hecken mit Schlehen, Liguster, Rosen und weiteren Gehölzen. Es sind deutliche Anklänge der überwiegenden Mesobromion-Vegetation an frischere Weiden des Cynosurion vorhanden (viel Kammgras). Wenn bei Trockenperioden andere, flachgründigere Gebiete stark austrocknen, machen die Plateaus dieser Gebiete einen unverändert frischen Eindruck.

**Burgstall** (FND) und **Knillberg** (zwei Teilflächen) im Süden des Steinheimer Beckens weisen dagegen einen xerothermen Charakter auf, der am felsig-steinigen, flachgründigen Untergrund (mit *Minuartia hybrida*, *Omocestus haemorrhoidalis*) liegt. Nur die südöstliche der beiden Teilflächen am im Osten stärker bebuschten und mit Bäumen (*Quercus robur*) bestandenen Knillberg ist weniger trocken und eher als sehr magere Weide zu bezeichnen. Hier blühen im Mai und Juni *Ranunculus bulbosus* und *Bellis perennis* in sehr großer Dichte.

Die südexponierte, noch beweidete Wacholderheide am **Steinfeld** (LSG) bei Gerstetten ist sehr mager, steil und steinig-xerotherm (*Minuartia hybrida*, *Chazara briseis*, *Pyrgus serratulae*). Stellenweise sind auch kleine Felsen und Gehölzgruppen (Eiche, Hasel und andere) vorhanden. Nach oben grenzt sie an Mischwald.

Die beiden Schnaitheimer Gebiete **Hirschhalde** und **Moldenberg** sind von Wacholderheiden umgebene ehemalige Steinbrüche (heute FND). Während die Hirschhalde (insgesamt drei Teilflächen) im Süden eine größere vorgelagerte, südexponierte Wacholderheide (eine Teilfläche) mit xerothermen, steinigen (*Chortippus mollis*, *Megachile pyrenaea*, *Thymelea passerina*) und versaumenden buschigen Bereichen aufweist, ist der Steinbruch am Moldenberg (insgesamt vier Teilflächen) fast allseits (außer im E) von nordwest- über west- bis südexponierten Magerrasen (drei Teilflächen) mit Kiefern und Schlehendickichten umgeben.

Das Teilgebiet „Steinbruch Hirschhalde“ mit seiner kleinräumigen Struktur aus bis etwa fünf Meter hohen Steilwänden, Plateaus und Abraumsohlen war bereits stellenweise stark mit Kiefern, Sal-Weiden und anderem Gehölz verwachsen, die im Herbst 2000 teilweise entfernt wurden. Neben größeren und kleineren Magerrasen und steinigen Böschungen ist besonders im Norden ein großes Plateau erhalten geblieben, das zum Wald überleitet und von Süd nach Nord von immer mesophiler werdendem Magerrasen bestanden ist (Teilgebiet „Plateauheide im Norden“).

## 8. Anhang

Am Moldenberg ist der Gehölzanteil etwas geringer, wenn auch hier besonders Kiefern und Sal-Weiden in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen haben (KOLLER 1991). Hier wurde erst nach Ende der Untersuchungszeit im November 2001 eine Gehölzpflege begonnen. Ansonsten ist das der Steinbruch (ein Teilgebiet) stellenweise ebenso kleinräumig strukturiert wie an der Hirschhalde, insgesamt aber durch große Böschungen mit Offenboden und Geröll sowie schütterere Abraumhalden (*Spiris striata*, *Osmia inermis*, *O. andrenoides*, *Omocestus haemorrhoidalis*, *Myrmecophilus acervorum*) deutlich xerothermer geprägt. Markant ist eine in der letzten Abbauphase entstandene ca. 30 Meter hohe Steilwand in der Mitte des Steinbruchs mit einer vorgelagerten, durch Auffüllung entstandenen und mit Sal-Weiden locker bestandenen Schafkoppel.

Der im Nordosten Schnaitheims liegende **Kelzberg** (LSG) (zwei Teilflächen) weist einen mageren, weniger xerothermen, aber sehr blütenreichen (*Scabiosa*, *Origanum*, *Onobrychis*) und oben verbuschenden (*Carpinus betulus*, *Pinus nigra* etc.) Westnordwesthang mit montan-alpinen Elementen wie *Psophus stridulus* und *Osmia inermis* auf. Daneben findet sich ein weniger magerer, aber trocken-heißer Südhang mit kleinen felsigen Anteilen, an dem Blütenpflanzen wie *Dianthus carthusianorum* und *Echium vulgare* dominieren und xerotherme Heuschrecken (*Omocestus haemorrhoidalis*) vorkommen.

Von den Heiden des LSG Lindletal (alle mit *Spiris striata*, *Eilema lutarella*) ist die südwestexponierte **Bläßhalde** flächenmäßig am größten. Wegen großer versaumender Bereiche mit Gehölzinseln und Hecken (*Thalictrum simplex*) weist sie nur relativ kleinflächige Anteile sehr magerer und xerothermer Vegetation (*Psophus stridulus*, *Pyrgus serratulae*) auf, so besonders oben und im Süden. Hier kam es vor Beginn der Untersuchungen 2000 sowie im Herbst 2001 zu umfangreicheren Pflegemaßnahmen mit Gehölzreduktionen.

Ebenfalls südwestexponiert ist die kleine, steinlose, aber sehr magere Heide am **Stürzlesberg** (*Psophus stridulus*, *Decticus verrucivorus*, *Cicadetta montana*, *Thesium pyrenaicum*). Im Herbst 2000 wurden an dieser großteils von Wald umgebenen Fläche Fichten, Wacholder und andere Gehölze reduziert sowie die im Sommer beweidete Heide zur Hälfte abgemäht.

Großteils südexponierte, stellenweise felsige und allgemein xerotherme Hänge (*Minuartia hybrida*) kennzeichnen die **Südliche Bläßhalde** (*Omocestus haemorrhoidalis*, *Gnophos pullatus*) und den **Ramenstein**. Erstere Fläche geht nach oben in eine ausgedehnte Verbuschungszone mit noch vorhandenen kleineren Offenbereichen über (*Callimorpha quadripunctaria*), während am weniger felsigen Ramenstein nach oben dichter Buchenwald anschließt.

Die **Geißkanzel** weist eine kleinflächige südostexponierte Heide auf, die am Fuß frischer und verfilzter ist und nach oben xerothermer wird (*Psophus stridulus*). Bis auf kleinere felsig-steinige Anrißstellen ist die Fläche von geschlossener Vegetation bedeckt.

Direkt südlich der trennenden B466 schließt das west- bis südwestexponierte **Reibertal** an (zwei Teilflächen). Durch kleine Einschnitte kommt besonders im Norden und im Süden auch die südwestliche bis südliche Exposition (ein Teilgebiet N + S) vor mit deutlich xerothermerer Vegetation. Besonders in der Mitte (ein Teilgebiet Mitte + Obstwiese) ist der Gehölzanteil durch Hecken größer. Hier liegt ganz oben hinter einer Fichtenumgrenzten Gartenfläche eine kleine mit Obstbäumen bepflanzte recht xerotherme, aber verfilzende Magerwiese mit viel *Lathyrus nissolia*.

Das Gebiet **Hetzenäcker** (zwei Teilflächen) schließlich weist einen kleineren südexponierten und teils verfilzenden xerothermen Hang an der B466 und einen größeren und magereren südostexponierten Anteil auf. Nach oben liegt jeweils Buchenwald, nach unten am Südosthang Schlehenhecken.

Die Flächen im Süden Heidenheims bei Mergelstetten sind meist kleinflächige Heidereste. Nur die **Arphalde** (LSG) im Westen ist etwas großflächiger und noch beweidet. Hierbei

## 8. Anhang

handelt es sich um einen nach Westen offenen Talkessel mit west-, süd (hier *Psophus stridulus*) und nordexponierten Magerrasen (drei Teilflächen). Im Zentrum eingeschlossen ist ein Acker sowie eine trockene, gemähte Salbei-Glatthaferwiese. Nach Süden liegt ein Fichtenforst, im Westen das Wohngebiet Reutenen und im Norden Buchenwald.

Die **Rappeshalde** ist ein kleiner westsüdwestexponierter Felshang oberhalb der B19, der oben an Buchenwald grenzt und eine xerotherme Vegetation (*Erysimum odoratum*, *Medicago minima*) aufweist. Der starke Kiefernflug wurde im Herbst 1999 entfernt.

Großteils westexponiert ist der zwischen Wohnbebauung und Schrebergärten gelegene **Erbisberg** (eine Teilfläche), der teils magere und xerotherme (*Teucrium montanum*) und teils verfilzte Bereiche aufweist. Auffällig ist eine nach unten greifende Bucht zwischen der angrenzenden Bebauung mit einer von der übrigen Fläche abweichenden mageren Saumvegetation aus *Anthericum ramosum*, *Buphthalmum salicifolium* und *Thesium bavarum*. Im Norden liegt ein kleiner südexponierter Anteil.

Der **Hohle Stein** (zwei Teilflächen) ist ein mit Kiefern und anderem Gehölz bewachsener kleiner südwestexponierter Magerrasenhang mit einer Mischung aus Xerothermvegetation (*Teucrium montanum*) und *Bromus erectus*-Filz, durch den in Serpentin ein Fußweg mit Hanganrißstellen zum oben anschließenden kleinen, mesophilen Plateau mit Linden hinaufführt. Dieses lag 2000 brach und wurde im Jahr darauf Anfang Juli gemäht.

Die wechselfeuchte, mergelige und zwischen Gärten und Buchenwald gelegene Heide am **Kunigundenbühl** (FND) ist südwest- bis nordwestexponiert. Hier dominiert die Saumvegetation des Geranion sanguinei mit *Peucedanum cervaria*, *Aster amellus*, *Anthericum*, *Buphthalmum* und *Thesium bavarum* gemischt mit Wechselfeuchtezeigern wie *Gentiana verna* oder *Epipactis palustris*. Es fehlen Steine und größere Offenbodenstellen. Im Herbst 1999 wurden einige größere Fichten sowie andere Gehölze entfernt. Ansonsten wird das Gebiet alle zwei Jahre durch Entfernen des Gehölzflugs gepflegt.

Der Heiderest bei **Anhausen** (LSG) ist größtenteils nordostexponiert. Nur eine kleine, steile Böschung zur Straße hin mit einem Esparsettenbestand ist nach Südosten geneigt. Die etwas wechselfeuchte Fläche ist teils verfilzt und teils noch mager mit einigen kleinen Offenbodenstellen mit Spatzenzunge (*Thymelea passerina*). Der Kiefernflug ist sehr stark, so daß große Teile der Fläche dicht mit bis drei Meter hohen Kiefern bestanden sind. Trotz der Lage in einem LSG und des entomologischen und floristischen Wertes wurden bislang keinerlei Pflegemaßnahmen durchgeführt, so daß sämtliche Arten bis in etwa fünf Jahren ausgestorben sein werden.

Das **Hungerbrunnental** (LSG) (drei Teilflächen) westlich von Heuchlingen ist durch südwest- bis südexponierte Wacholderheiden (zwei Teilflächen) charakterisiert. Stellenweise finden sich kleine Felsen sowie schotterige Bereiche (*Minuartia hybrida*, *Pyrgus serratulae*). Insgesamt herrscht eine xerotherme, nur leicht verfilzte Vegetation vor, die aber stellenweise von ruderalisierten Gesellschaften mit Disteln unterbrochen wird. Die Fläche ist teils locker mit Fichten und vor allem alten Eichen bestanden. Im westlichen Teil schließt oben an den Hang ein teils bodensaures umfangreiches Plateau mit *Calluna vulgaris* und selten *Viola canina* an, das in seinen mageren Teilen mit kurzer Grasdecke über Moos der Heuschrecke *Stenobothrus stigmaticus* Lebensraum bietet. Blütenreich ist besonders der NW-Teil.

Die Heiden der Lonetal-Flächenalb haben meist einen geringen Gehölzanteil, kaum Wald in der Umgebung sowie teils felsige Bereiche mit der Heuschrecke *Oedipoda caerulea*, der Biene *Rophites algirus* und der Berg-Hexe (*Chazara briseis*) gemeinsam. Zumindest bis in jüngster Vergangenheit wurden sie vergleichsweise intensiv schafbeweidet.

Der **Wartberg** im Nordwesten weist in seinem Südteil eine felslose und stein- sowie gehölzarme sehr magere Heide (*Stenobothrus nigromaculatus*, *Omocestus haemorrhoidalis*)

auf, die in einen Westhang, ein Plateau und einen Südhang gegliedert ist (drei Teilflächen). Im Nordosten und Südosten ist das früher wesentlich größere Gebiet von Wohnbebauung eingeschlossen. Ganz im Osten soll der Magerrasen am Südhang künftig ebenfalls zum Teil einer Wohnbebauung weichen. Der Südhang ist xerotherm mit viel Karthäuser-Nelke und teils etwas höherer Vegetation (*Bromus erectus*, *Avenochloa pratensis*, *Centaurea jacea*, *Aster amellus*), während der sehr schütterere Westhang durch eine große Dichte der Tauben-Skabiose sowie eine Mischung aus Xerobromionarten wie *Teucrium montanum* oder *Carex ericetorum*, wechselfeuchtezeigenden Mergelpflanzen wie *Gentiana verna* oder *Thymelea passerina* und Saumpflanzen wie beispielsweise *Anthericum* auffällt. Einige eingegrabene Versorgungsleitungen sind von ruderalisierter Vegetation bestanden (Dost, Disteln etc.). Das Plateau wird von West nach Ost Richtung Wohnbebauung leicht eutroph, was sich an der Zunahme des Glatthafters zeigt.

Eine kleine, locker von Kiefern bestandene Heidefläche (Gebiet **Wartberg-Nord**) am Waldrand im Norden des Wartbergs ist durch einen circa 300 Meter breiten Kiefern-Buchen-Hain vom südlich gelegenen Hauptteil abgetrennt. Hier dominiert eine etwas höherwüchsige Saumvegetation mit *Aster amellus*, *Anthericum* und *Buphthalmum*, die ähnlich dem Kunigundenbühl, aber etwas trockener, ausgebildet ist.

Das NSG **Eselsburger Tal** (Herbrechtinger Heide) (insgesamt sechs Teilflächen) ist durch steinige Westhänge (eine Teilfläche; *Hipparchia semele*, *Omocestus haemorrhoidalis*, *Myrmecophilus acervorum*) mit teils bizarren Felsformationen geprägt. In Taleinschnitten wird auch die südliche Exposition erreicht, so besonders im Mühlthal. Hier finden sich ein höherwüchsiger, blütenreicher Saum zum Acker, ein ausgedehnter fels- und steinloser sanfter Südhang (zusammen eine Teilfläche), in dem zum Teil ehemalige Ackerbrachen (*Carcharodus alceae*) liegen sowie im Westen ein sehr steiniger Steilhang (*Myrmeleotettix maculatus*, *Hipparchia semele*, *Osmia xanthomelana*, *Megachile pilidens*) mit einigen flachen Felsen (eine Teilfläche). Ein weiterer felsiger Süd- bis Südwesthang (eine Teilfläche) sowie ein vorgelagerter felsloser, flacher NW-Hang (eine Teilfläche) ist im südlichsten Teil nach Eselsburg hin ausgebildet. An den Felsen finden sich typische Arten wie *Allium montanum*, *Melica transsylvanica*, *Lactuca perennis*, *Galium glaucum* (lokal), *Vincetoxicum hirundinaria*, *Saxifraga decipiens* (nordexponiert), der Schwingel *Festuca glauca* und an einer Stelle noch *Dianthus gratianopolitanus*. Im Norden der Herbrechtinger Heide liegt ein kleiner Taleinschnitt, der im unteren Bereich eine kleine mesophile Obstwiese trägt und im hinteren Bereich eine durch Aufschüttung mit Erdaushub entstandene umfangreiche Ruderalflur (eine Teilfläche) mit Dost, Disteln, Weiden und Gartenflüchtlingen (*Cotoneaster conspicuus*).

Der Südhang des an Heuschrecken sehr reichen **Irpfl** weist einen steilen, felsigen Hang auf (*Sthenobothrus nigromaculatus*, *S. stigmaticus*, *Myrmeleotettix maculatus*, *Gnophos pullatus*, *Osmia anthopocoides*), der teils stärker mit Gehölzen wie *Robinia* bestanden ist. Im Herbst 1999 kam es hier zu umfangreicheren Gehölzreduktionen. Die Vegetation ist teils verfilzt und durch das Gras *Bromus erectus* dominiert und zum Teil an Felsen mit Kugelblume (*Globularia elongata*), *Galium glaucum*, *Melica transsylvanica* und *Allium montanum* sehr flachgründig. Hier und an den zahlreichen feinerdereichen, aber moosarmen Offenbodenstellen kommt eine reiche Annuellenflora vor. So finden sich *Medicago minima*, *Ajuga chamaepitys*, *Minuartia hybrida*, *Petrorrhagia prolifera* und andere mehr. Eine Besonderheit in der Gegend ist das häufige Vorkommen des Wärmezeigers *Carex humilis* (Erd-Segge). Am Hangfuß wachsen ausgedehnte Distelbestände.

Der **Irpfl-Westhang** westlich der Autobahn A7 beim Segelflugplatz Giengen (zwei Teilflächen) ist recht blütenarm. Nach unten grenzt er an eine Fichtenaufforstung mit einigen Lärchen und Kiefern, nach oben an die Autobahn und den Landeplatz. Hier finden sich Felsen und Steine nur an der Aufschüttungsböschung zur Landebahn hin, zusammen mit einem großen Wermut-Bestand.

## 8. Anhang

Bei einer SSE-Orientierung ist der Hang des östlich von Hürben gelegenen **Hohen Rains** (LSG) sehr steil und mager. Im oberen Drittel treten dazu noch zahlreiche Felsen zu-tage (*Myrmeleotettix maculatus*). Der Blütenreichtum ist gering, ebenso der Gehölzanteil. Nur Rosen (*Rosa rubiginosa*) dringen im oberen Bereich immer weiter vor.

Die Heide östlich des Taleinschnitts „Eschklinge“ (LSG), in vorliegender Arbeit nur als **Eschklinge** (insgesamt drei Teilflächen) bezeichnet, ist in einen felsigen SW-Hang (*Stenobothrus nigromaculatus*, *Omocestus haemorrhoidalis*, *Gnophos pullatus*), ein umfangreiches, leicht ruderales Plateau mit Disteln und einen großen Südhang mit nur wenigen flachen Fel-sen (*Minuartia hybrida*) gegliedert. Besonders im Bereich des Plateaus sind Schlehenhecken ausgebildet. Am Südhang sind zwischen der Vegetation kleinere, feinerdereiche Offenbodenstellen ausgebildet, so daß unter anderem Disteln (*Carduus acanthoides* etc.), *Trifolium ar-vense*) und *Erodium cicutarium* gedeihen.

Der in vorliegender Arbeit behandelte Südteil des **Benzenbergs** (LSG) (fünf Teil-flächen) weist Plateauzonen, einen SE-Hang mit flachen Felsen im Südostteil, einen W-Hang sowie einen S- bis SE-Hang (zwei Teilflächen nach Felsanteil) im Nordwestteil auf (*Omo-cestus haemorrhoidalis*, *Stenobothrus stigmaticus*). Insgesamt ist die Fläche als eine gehölz-lose Grassteppe zu bezeichnen. Besonders an den Felsen herrscht eine xerotherme Vegetation mit Graslilie (im NW) und Karthäuser-Nelke vor. Die übrigen Flächen sind teils stärker ver-filzt (*Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Avenochloa pratensis*), teils aber auch noch mager mit hohem Moosanteil.

Das **Lange Feld** (FND) stellt ein schafbeweidetes ehemaliges, in der Brenzaue gelegenes Flachmoor dar. Auf den flachen Querkalkbuckeln herrscht eine Mischung aus Mesobromion-Arten wie *Bromus erectus*, *Hippocrepis comosa*, *Scabiosa columbaria* und *Thymus pulegioides* sowie zumindest Wechselfeuchte zeigenden Arten des Molinion wie *Molinia coerulea*, *Primula farinosa*, *Phragmites australis* oder *Phyteuma orbiculare*. Tiefer gelegene Teile sind dagegen bereits deutlich eutrophiert mit *Galium mollugo* agg., *Geum rivale* oder *Urtica dioica*.

Dringend **pflegebedürftig** (Entbuschungsmaßnahmen) sind momentan Südliche Bläßhalde, Hohler Stein, Knillberg, Hirschhalde (Wacholderheide), Kelzberg (NW-Hang im oberen Bereich) und die Fläche bei Anhausen (flächiger Kiefernflug). Am Kunigundenbühl muß über Maßnahmen zur Entfilzung (herbstliche Teilmahd mit Abfuhr des Mähguts) nachgedacht werden.

## 8. Anhang

### 8.2 Tabellen

#### Gebietsanalyse

Tabelle 21: Vergabe der Indizes für die Teilflächen der Gebietsanalyse (H = Hirschhalde, M = Moldenberg, E = Eselsburger Tal). Keine Angaben bei der Exposition bedeuten ebene Lagen oder kleinräumig wechselnde Exposition mit vorherrschender ebener Lage (Steinbrüche).

Teilgebiet	Größe	Exposition	steinig/felsig	lückig	steil	waldnah	gehölzreich	beweidet	trocken	moosreich	mager
H (Wacholderheide)	3	S	3	3	4	3	3	3	3	2	3
H (Plateauheide im N)	2		1	1	1	4	2	1	2	3	1
H (Steinbruch)	2		4	4	2	4	4	1	2	2	3
Mühlhalde	2	SW	1	1	1	3	3	2	1	2	2
Schäfhalde-Plateau	3		1	1	1	2	3	3	1	3	2
Schäfhalde-Westhang	3	W	2	2	3	2	3	4	2	1	4
Burgstall	2	S	4	3	3	1	1	4	3	3	3
Knillberg-W	2	S	3	3	3	2	3	3	3	3	3
Knillberg-O	2	SO	1	2	2	2	3	4	2	2	4
Kelzberg-NW-Hang	3	WNW	2	3	4	2	3	3	2	3	4
Kelzberg-Südhang	2	S	3	3	3	2	2	3	4	3	2
M (Südhang)	2	S	2	2	3	2	4	3	3	3	3
M (Steinbruch)	3		4	4	3	1	3	1	4	2	2
M (Westhang)	3	SW	3	3	3	1	3	3	3	3	3
M (NW-Hang)	2	NW	2	1	3	2	3	3	1	3	3
Bläßhalde-Westhang	3	SW	2	2	3	3	3	3	2	3	2
Bläßhalde-Südhang	2	S	4	4	3	3	3	3	4	3	3
Stürzlesberg	2	SW	1	2	3	4	3	3	2	4	4
Geißkanzel	1	S	2	2	2	3	2	2	2	3	2
Reibertal Nord + Süd	2	SW	2	2	3	4	2	3	3	3	3
Reibertal Mitte + Obstwiese	2	W	1	1	2	4	3	2	2	2	2
Ramenstein	2	S	3	3	3	4	2	3	3	3	3
Hetzenäcker-Osthang	3	SO	1	2	3	3	2	3	3	4	3
Hetzenäcker-Südhang	1	S	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Rappeshalde	1	W	4	3	4	3	2	1	4	3	2
Erbisberg	2	W	2	2	2	1	2	1	3	3	2
Hohler Stein-SW	1	SW	2	2	3	3	3	1	2	3	2
Hohler Stein-Plateau	1		1	1	1	4	3	1	1	2	2
Arphalde-Südhang	2	S	1	2	3	3	2	3	2	3	3
Arphalde-Westhang	1	W	2	3	3	2	2	3	2	2	4
Arphalde-Nordhang	2	N	1	2	2	3	2	3	1	3	4
Kunigundenbühl	1	W	1	1	2	4	3	1	1	2	2
Wartberg-Nord	2	W	1	1	2	4	4	1	2	3	2
Wartberg-Westhang	2	W	2	3	3	1	1	3	2	3	4
Wartberg-Südhang	2	S	1	2	3	1	1	3	3	4	3
Wartberg-Plateau	2		1	1	1	1	1	3	2	4	3
Anhausen	1	NE	1	1	2	2	4	1	1	3	2
Hungerbr.tal-Südwesthang	2	SW	3	2	2	2	3	3	3	3	3
Hungerbr.tal-Südhang	3	S	2	2	2	1	2	3	2	3	3
Hungerbr.tal-Plateau	3		2	1	1	1	3	2	2	4	2
E (Mühltal: nicht felsig)	3	S	1	1	2	1	2	3	2	3	2
E (Mühltal: felsig)	2	S	4	4	3	1	1	3	3	2	4
E (NW-Hang Eselsburg)	2	NW	1	1	2	1	2	3	2	3	3
E (SW-Hang-Eselsburg)	3	SW	4	3	4	2	2	2	3	3	3

## 8. Anhang

Teilgebiet	Größe	Exposition	steinig/felsig	lückig	steil	waldnah	gehölzreich	beweidet	trocken	moosreich	mager
E (Westhänge)	4	W	4	4	4	1	2	3	3	2	4
E (ruderal)	1	W	2	2	2	1	3	3	2	1	2
Langes Feld	1		1	1	1	2	1	3	1	1	2
Irpfl-Südhang	3	S	4	4	4	1	3	3	4	1	2
Irpfl-Autobahnhang	2	W	2	2	2	2	2	3	2	2	3
Irpfl-SW-Hang (Landebahn)	2	SW	2	2	3	2	2	3	3	2	2
Hoher Rain	2	S	3	3	4	1	1	4	3	2	4
Eschklinge-SW-Hang	1	SW	3	3	3	1	1	3	3	3	3
Eschklinge-Südhang	2	S	2	2	3	1	2	4	3	2	4
Eschklinge-Plateau	2		1	2	1	1	2	3	2	3	3
Benzenberg-SE-Hang (SE)	2	SO	3	3	4	1	1	3	3	4	3
Benzenberg-Westhang	2	W	2	2	2	1	1	3	2	3	2
Benzenberg-Plateau	2		1	1	1	1	1	3	2	3	2
Benzenberg-S (nicht felsig)	2	S	1	2	2	1	1	3	2	2	2
Benzenberg-S (felsig)	1	S	3	3	3	1	1	3	4	2	3
Steinfeld	3	S	4	3	4	3	2	3	3	3	4

Tabelle 22: Besiedelung der Teilflächen durch die Widderchen (H = Hirschhalde, M = Moldenberg, E = Eselsburger Tal).

Gebiet	minos	ephaltes	lonicerae	transalp.	carniol.	viciae	loti	purpur.	filipend.
H (Wacholderheide)		XX		XX	XX	XX	XX	XX	XX
H (Plateauheide im Norden)			XX		X	XX	XX	X	XX
H (Steinbruch)	X	X				X	XX	X	X
Mühlhalde						XX	X	X	XX
Schäfhalde-Plateau						X	X	X	X
Schäfhalde-Westhang						X		X	X
Burgstall					X		X		XX
Knillberg-West							X	X	XX
Knillberg-Ost							X	X	X
Kelzberg-NW-Hang					X	XX	XX	XX	XX
Kelzberg-Südhang						X	XX	X	XX
M (Südhang)					X	X	XX	XX	XX
M (Steinbruch)	X	XX	XX		X	XX	XX	XX	XX
M (Westhang)		XX				X	X	XX	XX
M (NW-Hang)									X
Bläßhalde-Westhang	XX	X	XX		X	XX	XX	XX	XX
Bläßhalde-Südhang	X		X		X	X	X	XX	XX
Stürzlesberg	XX		XX		X	XX	XX	XX	XX
Geißkanzel	X		X			XX	X	XX	XX
Reibertal Nord + Süd	X		XX		X	XX	XX	XX	XX
Reibertal M+Obstwiese			XX		X	XX	XX	XX	XX
Ramenstein	XX		X			X	X	XX	XX
Hetzenäcker-Osthang	X		X			X	X	XX	XX
Hetzenäcker-Südhang	XX				X	XX	XX	XX	XX
Rappeshalde				X	XX	X	X	XX	XX
Erbisberg		X		XX	X	XX	XX	X	XX
Hohler Stein-Südwesthang				X		XX	X	X	XX
Hohler Stein-Plateau						XX			X
Arphalde-Südhang		X		X	XX	XX	XX	XX	XX

## 8. Anhang

Gebiet	minos	epialtes	lonicerae	transalp.	carniol.	viciae	loti	purpur.	filipend.
Arphalde-Westhang			X			X	X		X
Arphalde-Nordhang						X	X		X
Kunigundenbühl		XX		XX	X	X	X	X	XX
Wartberg-Nord				XX	X	X	X	XX	XX
Wartberg-Westhang				XX	X	X	X	XX	XX
Wartberg-Südhang	XX	X	X	XX	XX	XX	XX	XX	XX
Wartberg-Plateau								X	XX
Anhausen					X	XX	XX	X	XX
Hungerbr.tal-Westhang (W)								X	XX
Hungerbr.tal-Südhang	X				X	X	X	X	XX
Hungerbrunnental-Plateau									XX
E (Mühltal: nicht felsig)	XX	XX	X		XX	XX	XX	XX	XX
E (Mühltal: felsig)				X	XX			XX	XX
E (NW- Eselsburg)									X
E (SW-Eselsburg)	XX				XX		X	XX	XX
E (Westhänge)								X	XX
E (ruderal)								X	XX
Langes Feld						X		XX	X
Irpfl-Südhang				XX	X		X		XX
Irpfl-Autobahnhang									X
Irpfl-SW-Hang				XX					X
Hoher Rain					XX			X	XX
Eschklinge-SW-Hang					XX		X	X	XX
Eschklinge-Südhang					X				XX
Eschklinge-Plateau									XX
Benzenberg-SO					XX			X	XX
Benzenberg-Westhang								X	XX
Benzenberg-Plateau									XX
Benzenberg-S (nicht felsig)					X		XX	X	XX
Benzenberg-S (felsig)		XX	X	X	XX	X		X	XX
Steinenfeld	XX				XX	XX	X	XX	XX
relativ individuenarm	7	5	7	5	20	18	22	23	12
individuenreicher	8	6	6	8	12	19	18	24	48
Gesamtstetigkeit (max. 60)	15	11	13	13	32	37	40	47	60

## 8. Anhang

Tabelle 23: Verteilung der Raupennahrungspflanzen in den einzelnen Gebieten (0 = fehlend; 4 = häufig, flächendeckend).

Gebiet	Onobrychis	Hippocrepis	Coronilla	Vicia/Lath./Trifolium	Pimpinella	Thymus	Lotus
Hirschhalde	1	4	3	3	3	4	4
Mühlhalde	0	2	3	4	2	2	3
Schäfhalde	0	2	1	2	2	3	3
Burgstall	0	2	2	1	3	3	4
Knillberg	0	2	1	2	3	3	4
Kelzberg	1	2	2	2	3	4	4
Moldenberg	2	2	4	4	3	4	4
Bläühalde	0	2	3	4	3	3	4
Südliche Bläühalde	0	2	2	2	3	4	4
Stürzlesberg	0	1	3	2	3	3	3
Geißkanzel	1	0	2	3	3	3	3
Reibertal	0	0	2	3	3	4	4
Ramenstein	0	2	1	2	4	4	4
Hetzenäcker	0	1	1	3	4	4	4
Rappshalde	0	2	0	1	2	4	3
Erbisberg	0	4	3	2	2	2	4
Hohler Stein	0	3	4	3	2	2	3
Arphalde	2	4	3	3	3	3	4
Kunigundenbühl	1	4	3	3	3	2	3
Wartberg-Nord	0	4	1	2	2	4	3
Wartberg-Süd	2	4	2	2	3	4	4
Anhausen	2	3	2	3	2	2	3
Hungerbrunnental	1	2	2	3	4	4	4
Eselsburger Tal	2	4	3	2	4	4	4
Langes Feld	0	3	0	2	4	3	2
Irpfl-Südhang	2	3	1	1	3	4	3
Irpfl-Westhang	0	3	0	2	2	4	4
Hoher Rain	0	1	2	1	3	4	4
Eschklinge	0	2	2	2	3	4	4
Benzenberg	2	2	2	2	3	4	4
Steinenfeld	0	2	0	2	3	4	4

## 8. Anhang

### Vegetationsaufnahmen

Die Fundorte der Raupen von *Z. minos* waren südwest- bis südostexponiert und wiesen eine magere, aber geschlossene, auch stärker vertikal strukturierte Vegetation mit großem Deckungsgrad der Moosschicht auf. Neben den Gräsern *Bromus erectus* und *Brachypodium pinnatum* wiesen *Thymus pulegioides* und *Lotus corniculatus* hohe Stetigkeiten auf. Die Nahrungspflanze *Pimpinella saxifraga* erreichte auch in gut besetzten Habitaten selten Deckungswerte über eins.

Tabelle 24: Vegetationsaufnahmen einiger *Zygaena minos*-Raupenfundstellen (Aufnahme-Nummer 1-6) sowie eines typischen, mageren und moosreichen Bereichs am Wartberg (Nummer 7) mit vielen Raupen von *Z. carniolica* und *Z. filipendulae*. Die Pflanzen sind nach Stetigkeit und in zweiter Linie nach dem Deckungsgrad geordnet.

Aufnahme-Nummer	1	2	3	4	5	6	7
Ort	Steinenfeld	Stürzlesberg	Hetzenäcker	Wartberg-süd	Ramenstein	Ramenstein	Wartberg-süd
Datum	23.05.01	24.05.01	10.05.01	16.05.01	10.05.01	10.05.01	16.5.01
Fläche [m²]	25	25	25	25	25	25	25
Neigung [Grad] / Exposition	20 SSW	21 WSW	18 S	15 S	32 S	25 SE	8 SW
Gesamtbedeckung [%]	99	100	100	100	90	95	100
Strauchschicht [%]	0	5	0	0	0	0	0
Krautschicht [%]	70	80	95	95	85	90	65
Moosschicht [%]	90	100	90	80	70	95	100
<b>Strauchschicht</b>							
Juniperus communis		1					
<b>Krautschicht</b>							
Bromus erectus	3	1	3	3	2	3	1
Brachipodium pinnatum	+	1	1	3	+	2	3
Thymus pulegioides	2	+	+	+	1	2	1
Lotus corniculatus	+	1	+	+	+	+	2
Euphorbia cyparissias	1	+	+	1	1	+	+
Potentilla verna	3	+		+	2	2	+
Pimpinella saxifraga	1	1	1	+	1	1	
Sanguisorba minor	+	2	+	1		1	+
Festuca ovina agg.	1	1	+	1	+	+	
Galium verum	+	+	1	+	+	1	
Thymus froehlichianus	1	+		1	+	+	+
Hieracium pilosella	1	2			+	+	1
Carex caryophyllea	+	+		+		+	+
Medicago lupulina	+	+	+			+	+
Plantago media		1	+	1			2
Ononis repens		+	1	1			+
Poa pratensis			+	+	1	+	
Asperula cynanchica		+			+	+	+
Cirsium acaule	+	+	+				+
Scabiosa columbaria	+	+			+	+	
Cerastium arvense	2				+	1	
Prunella grandiflora		2		+			+
Ranunculus bulbosus			+		1	1	
Agrimonia eupatoria			1	+		+	
Achillea millefolium			+	+	+		
Hypericum perforatum	+		+	+			
Inula conyza			+		+	+	

## 8. Anhang

<b>Aufnahme-Nummer</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Plantago lanceolata	+	+	+				
Potentilla heptaphylla		+	+	+			
Thlaspi perfoliatum	+				+	+	
Veronica teucrium			+		+	+	
Carex flacca		2					1
Teucrium chamaedrys				+	2		
Arrhenaterum elatius					1	+	
Avenochloa pratensis				+			1
Centaurea jacea				1		+	
Geranium columbinum					1	+	
Leontodon hispidus		1					+
Teucrium montanum				1			+
Acinos arvensis	+				+		
Clinopodium vulgare			+		+		
Convolvulus arvensis				+	+		
Helianthemum nummularium					+	+	
Linum catharticum		+					+
Fragaria viridis			2				
Coronilla varia		1					
Viola hirta			1				
Alyssum alyssoides						+	
Anthyllis vulneraria		+					
Arenaria serpyllifolia	+						
Briza media							+
Cirsium eriophorum			+				
Daucus carota					+		
Dianthus carthusianorum		+					
Echium vulgare			+				
Erophila verna	+						
Fragaria vesca					+		
Hippocrepis comosa		+					
Knautia arvensis		+					
Koeleria pyramidata							+
Luzula campestris	+						
Ophrys apifera							+
Origanum vulgare						+	
Petrorrhagia prolifera	+						
Polygala amarella		+					
Polygala comosa		+					
Prunus spinosa		+					
Salvia pratensis							+
Sedum acre					+		
Trifolium pratense		+					
Veronica chamaedrys			+				
Vicia sativa			+				
<b>Moosschicht</b>							
Abietinella abietina			4	1	4	4	3
Hypnum lacunosum	4	4		4			4
Cladonia rangiformis	+	1	+		+		+
Entodon concinnus			+	1			
Rhytidium rugosum		1					
Cladonia portentosa	+						
Tulostoma brumale						+	

## Danksagung

Frau Prof. Dr. KALKO danke ich für die Annahme des Themas und die hilfreichen Anregungen und Gespräche bei der Fertigstellung.

Herrn Dr. TSCHAPKA (Bio III) möchte ich besonders für zahlreiche Hilfen und kritische Anmerkungen bei der Fertigstellung der Arbeit danken.

Für die unkomplizierte Erteilung der zur Durchführung der Freilandarbeiten erforderlichen Ausnahmegenehmigungen sei dem Regierungspräsidium Stuttgart herzlich gedankt.

Herrn Dr. MICHAEL MEIER (Münsingen-Dottingen) danke ich für umfangreiche Literaturhilfen, zahlreiche Gespräche und gemeinsame Exkursionen. Ebenfalls mit Literatur unterstützte mich freundlicherweise Prof. Dr. NAUMANN (Bonn).

Die Zoologische Staatssammlung München (Herr SCHUBERTH) übernahm die Bestätigung des Parasitoids *Brachymeria intermedia* (NEES). Vielen Dank!

Herrn Dr. BELLMANN (Bio III) sei für zahlreiche gemeinsame Exkursionen gedankt, die mich auch zu interessanten Widderchenhabitaten führten.

Nicht zuletzt möchte ich der Familie BAUR (Heidenheim) für ihre Gastfreundschaft und meiner eigenen Familie sowie meiner Freundin Ramona für ihre Geduld und Hilfsbereitschaft während der Zeit der doch recht turbulenten Freilanduntersuchungen danken.

## Lebenslauf und Bildungsgang

### **Persönliche Daten**

Name: Wolfgang Wagner  
geboren am: 14.03.1973 in Memmingen  
Familienstand: ledig  
Wehrdienst: 1993-1994 in Füssen

### **Ausbildung**

1979-1993 Besuch von Grundschule und Gymnasium in Memmingen mit Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife

1994-1999 Studium der Biologie an der Universität Ulm; Abschluß im November 1999 mit Diplom (Hauptfach: Ökologie; Nebenfächer: Spezielle Botanik, Spezielle Zoologie, Chemie)  
Thema der Diplomarbeit an der Abteilung für systematische Botanik und Ökologie (Bio V): „Biozöologische Untersuchungen an sieben Halbtrockenrasenkomplexen im Raum Heidenheim (Baden-Württemberg)“

seit 2000 Beginn der Arbeiten zur Dissertation über Widderchenökologie an der Abteilung für experimentelle Ökologie der Tiere (Bio III) der Universität Ulm

Ulm, 30.04.2002

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Dissertationsarbeit selbständig angefertigt und keine anderen Hilfen verwendet zu haben als in der Danksagung und im Literaturverzeichnis aufgeführt. Wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen wurden als solche gekennzeichnet.

Ulm, 30.04.2002