

# *Maculinea arion* (Lepidoptera: Lycaenidae): Ein Beispiel für die Deduktion von Naturschutzmaßnahmen aus einem Modell

Eva Maria Griebeler, Regina Pauler und Hans J. Poethke

## Synopsis

We present an individual based model for the growth of a population of the Large Blue Butterfly (*Maculinea arion*). The model explicitly describes the patchy distribution of larvae on thyme plants (*Thymus pulegioides*) and the interaction between butterfly larvae and ants (*Myrmica sabuleti*). An analysis of sensitivity is used to derive management measures for the conservation of the population under study.

*Modellierung, Simulation, Extinktion, Naturschutz, Maculinea arion*

*Modeling, simulation, extinction, conservation, Maculinea arion*

## 1. Einleitung

Der Thymian-Ameisen-Bläuling *Maculinea arion* ist in Deutschland als stark gefährdet einzustufen (Rote Liste, Kategorie 2 (PRETSCHER 1984)). Das vorliegende Modell **MACUSIM** (MACulinea SIMulation) entstand im Rahmen eines BMFT-Forschungsprojektes (HENLE 1993), in welchem der Einfluß von Isolation, Flächengröße und Biotopqualität auf das Überleben von Tier- und Pflanzenpopulationen untersucht wird. Es kann als Beispiel für den Einsatz von Modellen im Naturschutz dienen. Modelle bieten hier zum einen die Möglichkeit, die weitere Entwicklung einer Population sowie die Wahrscheinlichkeit ihres Aussterbens zu prognostizieren. Zum anderen ermöglichen sie das Auffinden der für das Überleben entscheidenden Schlüsselparameter und dienen damit der gezielten Planung der Datenaufnahme. Außerdem ist es so möglich, die Auswirkungen bestimmter Pflegemaßnahmen zu untersuchen und zu bewerten. Aufbauend auf bereits vorliegenden Literaturdaten und der im Vorfeld des Projektes begonnenen Datenaufnahme in einem Kalkmagerrasengebiet der Schwäbischen Alb (PAULER 1993) haben wir zwei Versionen zur Modellierung der Populationsdynamik von *Maculinea arion* für die untersuchte Fläche entwickelt. Die hier beschriebene Version **MACUSIM1** ist ein sehr detailliertes individuenbasiertes Modell und damit besonders rechenzeitaufwendig. **MACUSIM2** ist durch Abstraktion dieser sehr realitätsnahen Modellversion entstanden. Es ist

weniger rechenzeitaufwendig und wird insbesondere zur Simulation großer Beispielflächen verwendet (Kap. 3).

## 2. Das Modell MACUSIM

### 2.1 Die mit *Maculinea arion* im Modell interagierenden Arten bzw. Artengruppen und deren Bedeutung

Die Weibchen des Thymian-Ameisen-Bläulings legen ihre Eier auf Thymian (*Thymus pulegioides*) ab. Dieser dient den ersten drei Larvalstadien als Futterpflanze (PAULER 1993). Während dieses Lebensabschnitts leben die Bläulingsraupen kannibalisch (ELMES & THOMAS 1987) und können von *Trichogramma* parasitiert werden (THOMAS et al. 1991). Nach der 3. Häutung lassen sich die Raupen von der Thymianpflanze herunterfallen und warten darauf, von ihrer Wirtsameise *Myrmica sabuleti* adoptiert zu werden (THOMAS 1989). Sie werden aber ebenfalls von anderen *Myrmica*-Arten adoptiert, in deren Nest sie in der Regel jedoch nicht überleben können (THOMAS & WARDLAW 1992).

### 2.2 Methode

Das Leben einer *M. arion*-Population auf einer vorgegebenen Fläche wurde von uns individuenbasiert modelliert (KAISER 1979, DEANGELIS & GROSS 1992). Das Auffinden der für das Überleben der Art wesentlichen Habitatfaktoren und die Einschätzung der Bedeutung der Flächengröße erfolgte mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse des Modells. Als Ziel von Pflegemaßnahmen haben wir angenommen, daß für einen vorzuziehenden Zeitraum die Extinktionswahrscheinlichkeit der Population zu minimieren und die mittlere Endpopulationsgröße (Summe aller Populationsgrößen am Ende aller Simulationsläufe / Anzahl der Simulationsläufe) zu maximieren ist.

### 2.3 Beschreibung des Modells

**MACUSIM1** modelliert nur die Dynamik der *M. arion*-Population selbst. Alle übrigen Einflußgrößen

gehen als konstante Parameter (siehe Tabelle 1) in das Modell ein. Dies bedeutet, daß in der vorliegenden Modellversion nur demographische Stochastizität berücksichtigt wird. Eine Berücksichtigung der für das Überleben bedeutsamen Umweltstochastizität (SHAFER 1987) war in Ermangelung geeigneter Daten bisher nicht möglich (s. hierzu auch POETHKE et al. 1994).

Die Fläche, auf der die *M. arion*-Population lebt, wurde in 1 m x 1 m Rastereinheiten unterteilt. Die Verteilung des Thymians und der Wirtsameisennester auf das Areal wird in jeder Generation neu festgelegt. Dazu werden für den Thymian  $G_D \cdot \text{Arealgröße} / 100$  viele Rastereinheiten zufällig ausgewählt, die Thymian enthalten sollen. Ebenso werden entsprechend der Anzahl der vorhandenen Wirtsameisennester Rastereinheiten zufällig bestimmt, auf denen sich ein Wirtsameisennest befinden soll. Das erste Flußdia-

gramm in Abbildung 1 zeigt den Ablauf einer Generation für alle Individuen. In den weiteren Flußdiagrammen wird auf die Realisierung der einzelnen Lebensabschnitte näher eingegangen, wobei diese jeweils nur für ein einzelnes Individuum dargestellt sind.

### 3. Sensitivitätsanalyse des Modells und Ergebnisse für den Schutz der Art

Im folgenden Abschnitt ist der Ausschnitt aus der Sensitivitätsanalyse des Modells dargestellt, der uns bisher relevant für Pflegemaßnahmen einer *M. arion*-Population erscheint. Als Prognosezeitraum des Modells wurden 50 Generationen (Jahre) gewählt. Jedes Simulationsergebnis ergibt sich aus 100 unabhängigen stochastischen Simulationsläufen. Alle Simulati-

Tab. 1: Modellparameter zu MACUSIM

Tab. 1: Parameters of the model MACUSIM

Arealgröße		100 m x 100 m	
Eizahl pro Weibchen	$\lambda$	60	(THOMAS 1989)
Gelegegröße		1	(THOMAS et al. 1991)
Schlupfrate der Eier	$\Phi_{GS}$	0,9	(THOMAS et al. 1991)
Parasitierungsüberlebensrate	$\Phi_{GP}$	0,947	(THOMAS et al. 1991)
Thymiandeckung	$G_D$	25%	(PAULER 1993)
Anzahl der <i>Myrmica sabuleti</i> Nester pro ha	A	150–300	/
Erkundungsradius <i>Myrmica sabuleti</i>	$\rho$	2 m	(THOMAS 1990)
Anteil der Nester mit Königinnen	$\Phi_{AQ}$	1/3	(THOMAS & WARDLAW 1992)
Überlebenswahrscheinlichkeit einer Raupe im königinnenlosen Nest in Abhängigkeit verschiedener Anzahlen eingetragener Raupen	$\Phi_{AU}$	$\Phi_{AU}(1) = 0,35$ $\Phi_{AU}(2) = 0,18$ $\Phi_{AU}(3) = 0,09$ $\Phi_{AU}(4) = 0,04$ $\Phi_{AU}(5) = 0,02$ $\Phi_{AU}(6) = 0,01$	(THOMAS & WARDLAW 1992)
Überlebenswahrscheinlichkeit einer Raupe, falls sich mindestens eine Königin im Nest befindet	$\Phi_{AUQ}$	$= \Phi_{AU} / 2,8$	(THOMAS & WARDLAW 1990)
Anteil der <i>Myrmica sabuleti</i> -Adoption an der Gesamtadoption	$\Phi_{AW}$	40%	

onsläufe wurden mit 20 Faltern/ha gestartet, da dies der aktuellen Falterdichte auf der untersuchten Fläche entspricht (PAULER 1993). Zunächst werden in den Abschnitten 3.1 und 3.2 Modellparameter vom Typ Biotopqualität untersucht. Der Einfluß der Flächengröße wurde aufgrund der benötigten Rechenzeit mit der vereinfachten optimierten Version MACUSIM2 unter den gleichen obigen Bedingungen überprüft.

### 3.1 Der Einfluß der Wirtsameisendichte und der Thymiandeckung auf das Überleben der *M. arion*-Population

Abbildung 2.1 zeigt den Einfluß der Thymiandeckung auf die Extinktionswahrscheinlichkeit der *M. arion*-Population. Man erkennt, daß nur dann die Thymiandeckung einen Einfluß auf die Extinktionswahrscheinlichkeit besitzt, wenn sie relativ niedrig

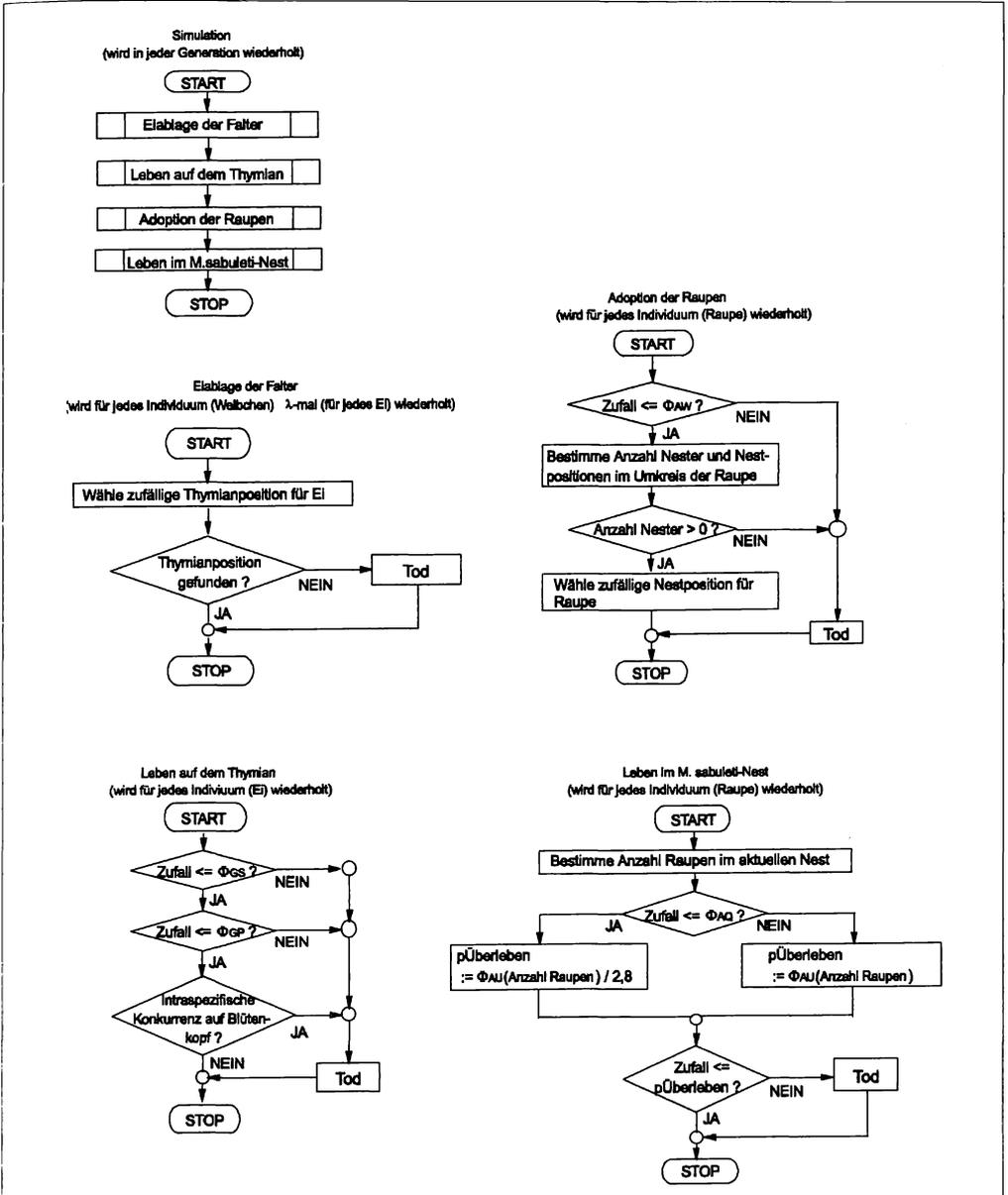


Abb. 1: Schematische Darstellung des Simulationsablaufs

Fig. 1: Schematic representation of the simulation mode

(<5%) ist. Weiterhin sieht man, daß die Extinktionswahrscheinlichkeit für eine zunehmende Wirtsameisennestanzahl sehr schnell abnimmt. Analog zur Extinktionswahrscheinlichkeit verhält sich die mittlere Endpopulationsgröße in Abhängigkeit der Thymiandeckung (Abbildung 2.2). Hier wird bei etwa 20% Deckung ein Sättigungswert erreicht, der seinerseits nahezu linear mit der Anzahl der Ameisennester zunimmt. Insgesamt besitzt bei den vorliegenden Verhältnissen die Anzahl der auf einer Fläche vorhandenen Wirtsameisennester einen bedeutenderen Einfluß auf das Überleben einer *M. arion*-Population als die Thymiandeckung. Deshalb sollten Pflegemaßnahmen vornehmlich die Abundanz der Wirtsameise steigern. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit Untersuchungen, die in England an Populationen dieser Art gemacht wurden (THOMAS 1990). Eine

nachlassende Beweidung von Halbtrockenrasen hatte dort einen Rückgang der Wirtsameisenabundanz zur Folge, da sich das Mikroklima aufgrund der Zunahme der mittleren Grashöhe für *Myrmica sabuleti* drastisch verschlechterte. Die für die Wirtsameise erforderliche Beweidung fördert aber ebenfalls das Vorkommen von Thymian. Insgesamt kann also eine regelmäßige Beweidung das Überleben einer *M. arion*-Population auf einer Fläche sichern, da sie das Vorkommen beider Wirtsarten positiv beeinflusst.

### 3.2 Der Einfluß des Anteils der Wirtsameisen-adoption an der Gesamtadoption auf das Überleben der *M. arion*-Population

*M. arion*-Raupen können im Modell nur dann überleben, wenn sie von *Myrmica sabuleti* adoptiert wer-

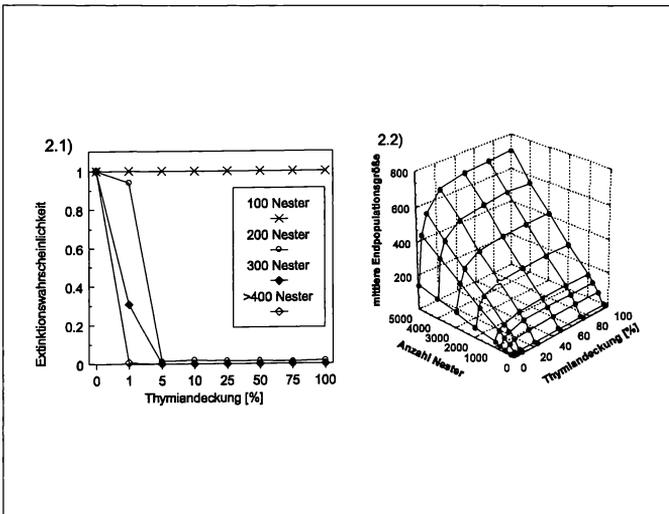


Abb. 2 Extinktionswahrscheinlichkeit (2.1) und mittlere Endpopulationsgröße (2.2) in Abhängigkeit der Thymiandeckung und der Anzahl der Wirtsameisennester für einen Prognosezeitraum von 50 Jahren für ein 1 ha großes Areal. Die Simulationen wurden mit 20 Faltern gestartet.

Fig. 2 Extinction probability (2.1) and mean population size at the end of the simulation (2.2) versus *Thymus pulegioides* and the number of *Myrmica sabuleti* nests for 50 years and an 1 ha areal. The simulations were started with 20 butterflies.

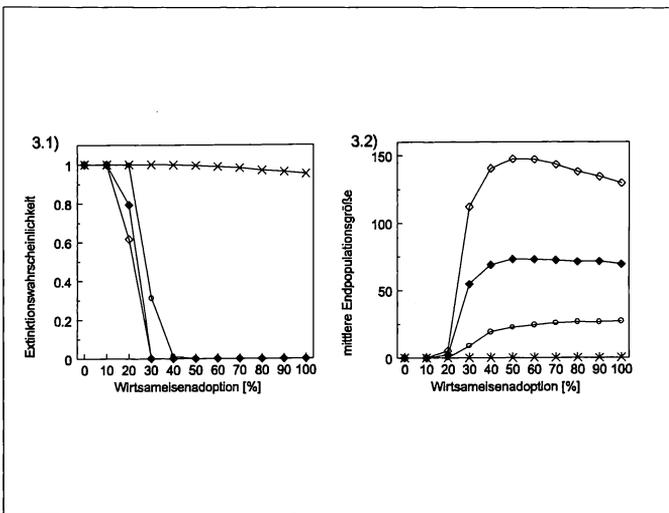


Abb. 3 Extinktionswahrscheinlichkeit (3.1) und mittlere Endpopulationsgröße (3.2) in Abhängigkeit des Anteils der Wirtsameisenadoption an der Gesamtadoption für einen Prognosezeitraum von 50 Jahren für ein 1 ha großes Areal. Die Simulationen wurden mit 20 Faltern gestartet. x 100 ○ 200 ◆ 500 ◇ 1000 Wirtsameisennester

Fig. 3 Extinction probability (3.1) and mean population size at the end of the simulation (3.2) versus the percentage of *Myrmica sabuleti* adoption for 50 years and an 1 ha areal. The simulations were started with 20 butterflies. x 100 ○ 200 ◆ 500 ◇ *Myrmica sabuleti* nests

den. Die Adoption durch eine andere *Myrmica*-Art führt zu ihrem Tod (THOMAS et al. 1989). Es ist daher wichtig, den Einfluß des Anteils der Adoption durch die geeignete Wirtsameise an der Adoption durch *Myrmica*-Arten allgemein zu untersuchen (Abb. 3.1). Dieser Einfluß entspricht qualitativ dem der Thymiandekung (s. Abb. 2.1). Ein sicheres Überleben der *M. arion*-Population ist möglich, wenn mehr als 40% der Raupen durch die geeignete Wirtsameise adoptiert werden. Der Verlauf der mittleren Endpopulationsgröße in Abhängigkeit des Anteils der Wirtsameisenadoption (Abbildung 3.2) an der Gesamtadoption entspricht einer Optimumskurve. Sollte die Wirtsameisenadoption auf einer untersuchten Fläche kleiner als 40% sein, so muß dieser Modellparameter möglichst exakt bestimmt werden, um die Genauigkeit der Modellprognose zu erhöhen. In diesem Fall sollten Pflegemaßnahmen die Abundanz der Wirtsameise selektiv fördern, zum Beispiel durch eine Verbesserung des für die Wirtsameise erforderlichen Mikroklimas. Daß dies möglich ist, zeigen wiederum die Untersuchungen von THOMAS (1990). Er zeigt, daß es eine mittlere Vegetationshöhe gibt, die für *Myrmica sabuleti* optimal und z.B. für *Myrmica scabrinodis* pessimal ist.

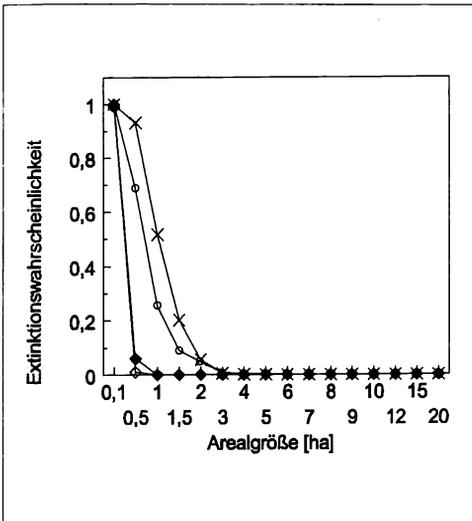


Abb. 4  
Extinktionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Flächen-  
größe für einen Prognosezeitraum von 50 Jahren. Die Simu-  
lationsläufe wurden mit 20 Faltern pro ha gestartet.  
x 150 ○ 200 ◆ 250 ◇ 300 Wirtsameisennester/ha

Fig. 4  
Extinction probability versus the size of the areal for 50 years.  
The simulations were started with 20 butterflies.  
x 150 ○ 200 ◆ 250 ◇ 300 *Myrmica sabuleti* nests per ha

### 3.3 Der Einfluß der Flächengröße auf das Überleben der *M. arion*-Population

Abbildung 4 zeigt, daß unabhängig von der Wirtsameisennestanzahl die Extinktionswahrscheinlichkeit für eine zunehmende Flächengröße exponentiell abnimmt. Die Anzahl der Wirtsameisennester pro ha haben wir für die untersuchte Fläche auf 150–300 Nester/ha geschätzt. Die Thymiandekung beträgt dort 25% und der Anteil der Wirtsameisenadoption an der Gesamtadoption ca. 40%. Dies bedeutet, daß diese *M. arion*-Population auf ihrer etwa 12 ha großen Fläche sicher vor einer demographischen Extinktion in den nächsten 50 Jahren ist.

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Das Modell **MACUSIM** hat exemplarisch gezeigt, was Modelle für den Naturschutz leisten können. Sie können die Entwicklung einer Population prognostizieren und die Datenaufnahme der Freilandökologen verbessern. Der bisher noch fehlende Einfluß der Isolation kann einfach durch eine Erweiterung des Modells als Metapopulationsmodell untersucht werden. Ebenso kann mit diesem Ansatz der Einfluß einer heterogenen Umwelt beobachtet werden. Da der Einfluß stochastisch schwankender Umweltbedingungen auf das Überleben der Falterpopulation bisher vernachlässigt wurde, muß damit gerechnet werden, daß die Extinktionswahrscheinlichkeiten im Freiland insgesamt deutlich höher sind und damit die zur Erhaltung der Population notwendigen Fläche größer als hier errechnet ist. Eine Erweiterung des Modells auf solche Verhältnisse ist geplant. Sie wird nur die quantitativen Aussagen zur Flächengröße verändern.

Diese Arbeit wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 0339520 A) gefördert.

### Literatur

- DEANGELIS, D. L. & L. J. GROSS, 1992: Individual-based models and approaches in Ecology. – Chapman & Hall, New York.
- ELMES, G. W. & J. A. THOMAS, 1987: Die Gattung *Maculinea*: 354–368. Die Biologie und Ökologie der Ameisen der Gattung *Myrmica*: 404–409. In: SBN 18 (3. Auflage) Golze, Göttingen.
- HENLE, K., 1993: Bedeutung von Isolation, Flächengröße und Biotopqualität für das Überleben von Tier- und Pflanzenpopulationen in der Kulturlandschaft am Beispiel von Trockenstandorten. – Z. Ökologie u. Naturschutz 2: 58–60.

- KAISER, H., 1979: The dynamics of populations as the result of properties of individual animals. – Fortschr. Zool. 25: 109–136.
- PAULER, R., 1993: Untersuchungen zur Autökologie des Schwarzgefleckten Ameisenbläulings, *Maculinea arion* (LINNAEUS, 1758) (Lepidoptera: Lycaenidae). Diplomarbeit an der Fakultät für Biologie der Universität Tübingen: 141 S.
- POETHKE H. J., GRIEBELER, E. M. & R. PAULER, 1994: Individuenbasierte Modelle als Entscheidungshilfen im Artenschutz. – Z. Ökologie u. Naturschutz 3: 197–206.
- PRETSCHER, P. 1984: Rote Liste der Großschmetterlinge. In: BLAB, J., NOWAK, E., TRAUTMANN, W. & H. SUKOPP (eds.): Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. – Greven (Naturschutz aktuell 1): 270 S.
- SHAFFER, M., 1987: Minimum viable populations: coping with uncertainty. In: SOULÉ, M. E. : Viable Populations for Conservation. – Cambridge University Press, Cambridge: 69–86.
- THOMAS, J. A., 1989: The return of the Large Blue Butterfly. – Br. Wildl. 1(1): 2–13.
- THOMAS, J. A., 1990: Rare Species Conservation: Case Studies of European Butterflies. In: SPELLENBERG, I. F., GOLDSMITH, F. B. & M. G. MORRIS: The scientific Management of temperate Communities for Conservation. – Blackwell Scientific Publ., London: 149–197.
- THOMAS, J. A. & J. C. WARDLAW, 1990: The effect of queen ants on the survival of *Maculinea arion* larvae in *Myrmica* ant nests. – Oecologia 85: 87–91.
- THOMAS, J. A. & J. C. WARDLAW, 1992: The capacity of a *Myrmica* ant nest to support a predacious species of *Maculinea* butterfly. – Oecologia 91: 101–109.
- THOMAS, J. A., ELMES, G. W., WARDLAW, J. C. & M. WOYCIECHOWSKI, 1989: Host specificity among *Maculinea* butterflies in *Myrmica* ant nests. – Oecologia 79: 452–457.
- THOMAS, J. A., MUNGURIA, M. L., MARTIN, J. & G. W. ELMES, 1991: Basal hatching by *Maculinea* butterfly eggs: a consequence of advanced myrmecophily? – Biological Journal of the Linnean Society 44: 175–184.

### Adressen

E. M. Griebeler, Dr. H. J. Poethke  
 Institut für Zoologie – Abt. V (Populationsbiologie),  
 Johannes Gutenberg Universität  
 Saarstr. 21, 55099 Mainz

R. Pauler  
 Institut für Landschaftsplanung und Ökologie,  
 Universität Stuttgart  
 Azenbergerstraße 12, 70174 Stuttgart

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [24\\_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Griebeler Eva Maria, Pauler Regina, Poethke  
Hans Joachim

Artikel/Article: [Maculinea arion \(Lepidoptera: Lycaenidae\): Ein Beispiel für die Deduktion von Naturschutzmaßnahmen aus einem Modell 201-206](#)