PHILIPPIA	7/2	S. 109–127	7 Abb., 3 Tab.	Kassel 1995

Isabelle Schön

Die Besiedlung der Marburger Lahnberge durch Microtus arvalis (Feldmaus)

ausgezeichnet mit dem Philippi-Preis 1994

Abstract

Population dynamics of a free-living population of *Microtus arvalis* at the Lahnberge (Marburg, Germany) were analysed. Voles were live-trapped monthly and marked individually. Blood samples were taken from every vole one time. For genetical comparisons, blood was also taken from voles of neighbouring populations.

A peak in population size could be noticed at the Lahnberge 1990. Density per hectar was high in this year comparing to literature. Reproducing females shared their home-ranges in July and August 1990. At the same time mean weight of whole population reached a high value because of a large number of pregnant females. Period of reproduction ended early in 1990 and adult voles disappeared to a remarkable extent. A lower density and a stable population structure could be determined 1991. Although 1992 a peak of population size was reached again, spatial distribution of females did not change and whole density was lower than 1990. In 1992 spring weather delaid start of reproduction. Population size and structure in 1993 was like 1991. A population cycle could probably not be determined for the vole population of Lahnberge, because typical signs of a population peak were only noticed one time (1990).

Part of mitochondrial DNA was amplified from DNA of blood and liver by PCR. The resulting PCR-fragment showed the same size for every vole. Digestion of the PCR-product with the restriction enzyme *Alu I* revealed two different banding patterns relying on sequence divergence. Pattern A could only be determined for voles from Lahnberge and the neighbouring Bauerbach-population. In all probability, some female founders of the Lahnberge-population originate from Bauerbach.

Frequency of pattern A within the Lahnberge-population increased between 1990 and 1991. As simultaneously the number of reproducing females decreased, this change in genetical population structure can be classified as a typical »genetical bottle-neck«.

Zusammenfassung

Die Dynamik der Feldmauspopulation auf den Marburger Lahnbergen wurde von 1990 bis 1993 durch monatliche Lebendfänge und indi-

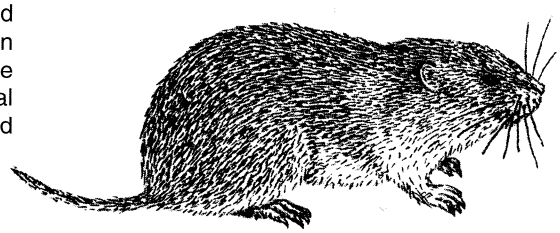


Abb. 1: *Microtus arvalis*; Zeichnung I. Rimbach

viduelle Markierung der gefangenen Tiere erfaßt. Gleichzeitig wurde allen Individuen einmal Blut entnommen. Blutproben aus den Nachbarpopulationen Bauerbach und Schröck dienten als Referenz.

Das Maximum in den Bestandszahlen der Lahnberge zeigte sich 1990, das auch im Vergleich zu Literaturdaten als ein Jahr hoher Feldmausdichte bezeichnet werden kann. Im Juli und August 1990 teilten sich reproduzierende Weibchen zu einem großen Anteil ihre Reviere mit weiteren Weibchen. Gleichzeitig war im Juli 1990, bedingt durch den großen Anteil trächtiger Tiere, auch das Durchschnittsgewicht der Gesamtpopulation erhöht. Die Reproduktion brach 1990 frühzeitig ab und adulte Tiere verschwanden zu einem hohen Prozentsatz aus der Population. 1991 war durch eine insgesamt niedrigere Dichte und relativ stabile Populationsverhältnisse gekennzeichnet. Zwar wurde auch 1992 wieder eine größere Zahl an Feldmäusen erreicht, Änderungen in der räumlichen Verteilung der Weibchen wie 1990 fehlten jedoch. Auch die Dichte war niedriger als 1990. Aufgrund der schlechten Frühjahrswitterung setzte die Reproduktion 1992 verspätet ein. 1993 ähnelte die Population in Größe und Struktur dem Jahr 1991. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Dichteschwankungen auf den Lahnbergen kein zyklisches Muster aufweisen, da 1992 und 1993 die typischen Parameter für ein maximales Dichtejahr fehlten.

Ein Teil der mitochondrialen DNA aus den Blutproben und aus der Leber toter Tiere wurde mit Hilfe der PCR-Technik vervielfältigt. Das PCR-Fragment wies bei allen Individuen die gleiche Größe auf. Wurde es mit dem Restriktionsenzym *Alu I* geschnitten, ergaben sich zwei verschiedene Schnittmuster, die auf Sequenzunterschieden beruhen. Muster A trat nur bei Feldmäusen auf den Lahnbergen und im benachbarten Bauerbach auf. Damit ist sehr wahrscheinlich, daß die weiblichen Vorfahren der Lahnberge-Population aus Bauerbach stammen.

Innerhalb der Lahnberge-Population erhöhte sich von 1990 zu 1991 die Häufigkeit von Muster A, gleichzeitig sank die Zahl der sexuell aktiven Weibchen. Ein solcher Zusammenhang zwischen der Häufigkeit eines genetischen Musters und der Zahl der reproduzierenden Tiere ist charakteristisch für einen »genetischen Flaschenhals«.

Inhalt

1. Einleitung ... 110
2. Untersuchungsgebiete ... 111
3. Populationsökologie
3.1 Material und Methoden
3.1.1 Lebendfang ... 112
3.1.2 Berechnung populationsrelevanter Daten ... 112
3.2 Ergebnisse
3.2.1 Populationsverlauf und Altersklassen ... 112
3.2.2 Gewichte ... 114
3.2.3 Raumnutzung der Population ... 115
3.3 Diskussion
3.3.1 Zeitlicher Verlauf der Populationsentwicklung und Populationszusammensetzung ... 116
3.3.2 Gewichte ... 117
3.3.3 Räumliche Struktur der Population ... 118
3.3.4 Die Dichtewerte Marburgs im europäischen Vergleich ... 119
3.3.5 Mehrjährige Populationszyklen? ... 119
4. Molekularbiologie
4.1 Material und Methoden
4.1.1 Isolierung der DNA ... 121
4.1.2 Blutproben ... 121
4.1.3 Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR) ... 122
4.1.4 Restriktionsverdau mit *Alu I* ... 123
4.2 Ergebnisse
4.2.1 PCR ... 123
4.2.2 Restriktionsverdaue mit *Alu I* ... 123
4.3 Diskussion
4.3.1 PCR ... 124
4.3.2 *Alu I*-Verdaue ... 125
5. Abschlußbemerkung ... 125
Literatur ... 126

1. Einleitung

Der wachsende Einfluß des Menschen auf die Natur durch die Ausbreitung der monotonen Kulturlandschaft und den Bau von Straßen und Städten geht mit einer zunehmenden Zerschneidung der natürlichen Lebensräume einher. Wie Tiere und Pflanzen darauf reagieren, ist jedoch noch weitgehend unbekannt. In

Marburg bot sich das Universitätsgebiet »Lahnberge« als Modell an. Denn seit dieses ursprünglich bewaldete Areal zu Beginn der Siebziger Jahre gerodet wurde, hat sich hier eine völlig andere Flora und Fauna eingestellt. Inzwischen sind z. B. in der Gruppe der Heuschrecken alle Arten vertreten, die auf wechselfeuchten und trockenen Wiesen zu erwarten wären (LIN, 1990, unveröffentlicht; THEUERKAUF, 1992, unveröffentlicht). Fraglich bleibt aber, wie die Besiedlung dieses neuen Lebensraumes erfolgt ist und woher die Kolonisierer kamen. Das Universitätsgebiet ist zudem stark fragmentiert, so daß sich zusätzlich der Einfluß dieser Zerschneidung untersuchen läßt.

Im Rahmen einer Promotion (SCHÖN, 1995) wurden die Feldmäuse als Beispielart der Lahnberge bearbeitet. Diese Wühlmausart eignet sich aus mehreren Gründen besonders gut zur Aufklärung ihrer Kolonisierungsgeschichte. So kommt *Microtus arvalis* im geschlossenen Wald nicht vor, sondern ist in ihrer Verbreitung an offene Flächen wie Wiesen oder Felder gebunden. Da das Universitätsgebiet Lahnberge aber nach wie vor von einem geschlossenen Waldgürtel umgeben ist, müssen die dort lebenden Feldmäuse tatsächlich eingewandert sein. Als potentieller Ausgangsort der Besiedlung kommt das in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Lahnbergen gelegene Amöneburger Becken in Frage, wo Feldmäuse auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen sehr häufig sind. Aus Voruntersuchungen war bereits bekannt, daß *Microtus arvalis* auf den Lahnbergen in höherer Individuenzahl vorkam. Zusätzlich bot sich die Möglichkeit, Blutproben von lebenden Feldmäusen zu entnehmen und diese molekularbiologisch zu untersuchen. Damit kann die Besiedlungsgeschichte anhand der genetischen Daten einer lebenden Population aufgeschlüsselt werden. Ob die Feldmäuse der Lahnberge sich durch ständige Inzucht genetisch ähnlich sind, oder ob im Verlauf der Besiedlung durch mehrere, einwandernde Feldmäuse neues Erbmaterial in die Population gebracht wurde, kann nur mit molekularbiologischen Methoden analysiert werden. Die Aufklärung der Frage, wie die Feldmäuse die »Lahnberge« kolonisiert haben und woher sie ursprünglich kamen, kann erste Hinweise darauf geben, in welchem Maße Kleinsäuger neue Lebensräume besiedeln.

2. Untersuchungsgebiete

Die Hauptuntersuchungen wurden auf den »Lahnbergen«, einem östlich von Marburg liegenden Buntsandsteinplateau (Höhe zwischen 304 und 325 m NN) durchgeführt. Das Universitätsgebiet, das sich auf diesem Bergrücken befindet, war ursprünglich bewaldet und wurde zu Beginn der Siebziger Jahre gerodet. Charakteristisch sind heute die durch einen Waldgürtel isolierten Freiflächen und eine starke Zerschneidung des Gebietes. Neben Gebäuden, Straßen, Wegen und Parkplätzen sind mehr oder weniger große Wiesen für dieses Areal typisch. In unmittelbarer Nähe des Fachbereichs Biologie wurden sechs Einzelwiesen mit einer Gesamtgröße von 0,7 ha als Haupt-Untersuchungsfläche ausgewählt. Auf allen Einzelwiesen wurde die Populationsentwicklung der Feldmäuse über mehrere Jahre verfolgt. Zusätzlich wurden den Tieren für genetische Analysen Blutproben entnommen. Um einen Eindruck über die genetische Variabilität der Feldmauspopulation des gesamten Universitätsgebietes zu erhalten, wurde der Fang in zwei Sommern auf weitere Wiesen im neuen Botanischen Garten und in der Umgebung der Fachbereiche Chemie und Biologie ausgeweitet. Hier stand das Sammeln weiterer Blutproben und nicht die Erfassung von Populationsdaten im Vordergrund.

Zusätzlich erfolgte der Lebendfang für vergleichende, genetische Analysen auf zwei Flächen (0,8 und 0,9 ha Größe) in Bauerbach und Schröck, die im Amöneburger Becken liegen. Beide Orte befinden sich in einer rein landwirtschaftlich genutzten Umgebung in unmittelbarer Nähe zum Universitätsgebiet (Luftlinie 2 bzw. 4 km) und kommen als potentieller Ausgangspunkt für die Besiedlung der Lahnberge in Frage.

3. Populationsökologie

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Lebendfang

Um die Populationsentwicklung der Feldmäuse im Hauptuntersuchungsgebiet festzuhalten, wurden von Juli 1990 bis August 1993 einmal monatlich Lebendfänge durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden auf allen Wiesen im Abstand von 10 m Lebendfallen des Typs »Luna Holzkastenfalle mit Wippmechanismus« (200 x 62 x 75 mm, Fallenfabrik Keim, Neuburg/Inn) aufgestellt. Sie enthielten Holzwolle zur Isolierung. Als Köder wurden Möhren, Haferflocken und Sonnenblumenkerne benutzt. Tetrapak®-Tüten, in die die Falle jeweils geschoben wurde, dienten als Wetterschutz. Zu Beginn jeder Fangperiode, die drei Tage und Nächte umfaßte, wurden die Fallen beködert und auf den Wiesen aufgestellt.

Ihre Kontrolle erfolgte in der Regel dreimal täglich, wurde aber in Abhängigkeit von der Witterung modifiziert. Gefangene Feldmäuse wurden im Labor mit Ether narkotisiert, gewogen und ihr Geschlecht sowie der sexuelle Status vermerkt. Als sexuell aktiv galten Männchen, deren Hoden sichtbar waren und Weibchen, die laktierten oder erkennbar trächtig waren. Jedes Tier wurde mit einer numerierten Ohrmarke versehen. Als Marken wurden chirurgische Wundklammern (»Michel«, 11 x 2,5 mm, Medicon, Tuttlingen) verwendet, in die Zahlen eingeschlagen wurden. Ein in der Position wechselnder Fellschnitt auf der Dorsal- und eine Farbmarkierung mit Xanthinfarbe (Simon, Bad Schwalbach) auf der Ventralseite dienten als zusätzliches, individuelles Erkennungsmerkmal. Anschließend wurde jedem betäubten Tier einmal Blut an der Schwanzspitze entnommen und für spätere Analysen eingefroren. Die Feldmäuse wurden danach kurze Zeit im Laborkäfig beobachtet und dann wieder am Fangort freigelassen.

3.1.2 Berechnung populationsrelevanter Daten

Für jede Fangperiode wurde die Größe der Feldmauspopulation mit der MNA-Methode (KREBS 1977) bestimmt. Die Dichte wurde anschließend berechnet, indem diese Populationsgröße auf eine Fläche von einem Hektar umgerechnet wurde.

Zur Ermittlung des Durchschnittsgewichts der Population wurden für jede Fangperiode alle Fänge herangezogen, d. h., auch alle Wiederfänge innerhalb einer Fangperiode.

Die Einteilung der gefangenen Feldmäuse in Altersklassen erfolgte anhand ihres Gewichts. Tiere, die leichter als 12 g sind, werden als juvenil eingestuft; subadulte Tiere wiegen zwischen 12 und 20 g, adulte mehr als 20 g (HALLE, persönliche Mitteilung).

3.2 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die populationsökologischen Ergebnisse der Feldmäuse des Haupt-Untersuchungsgebietes beschrieben. Auf eine detaillierte Darstellung der Daten aus den übrigen Untersuchungsgebieten wird aufgrund der geringen Fangzahl verzichtet.

3.2.1 Populationsverlauf und Altersklassen

In der Zeit von Juli 1990 bis August 1993 wurden im Hauptuntersuchungsgebiet mit 866 Fängen insgesamt 553 Feldmäuse nachgewiesen. Abbildung 2 gibt den Verlauf der Populationsgröße nach MNA für diesen Untersuchungszeitraum und die Aufteilung der Individuen in die drei Altersklassen (Adulte, Subadulte, Juvenile) wieder.

Allen Jahren ist ein deutliches Absinken der Populationsgröße in den Wintermonaten und ein mehr oder weniger steiler Anstieg im Frühjahr und Sommer gemeinsam. 1992 bewegte sich die Zahl der Feldmäuse im Frühjahr auf einem niedrigeren Niveau als in den anderen Jahren und stieg erst ab Juni deutlich an.

Vergleicht man die Populationsgrößen der einzelnen Jahre, sind Unterschiede zu erkennen, die statistisch signifikant sind ($p = 0{,}00001$ nach F-Test).

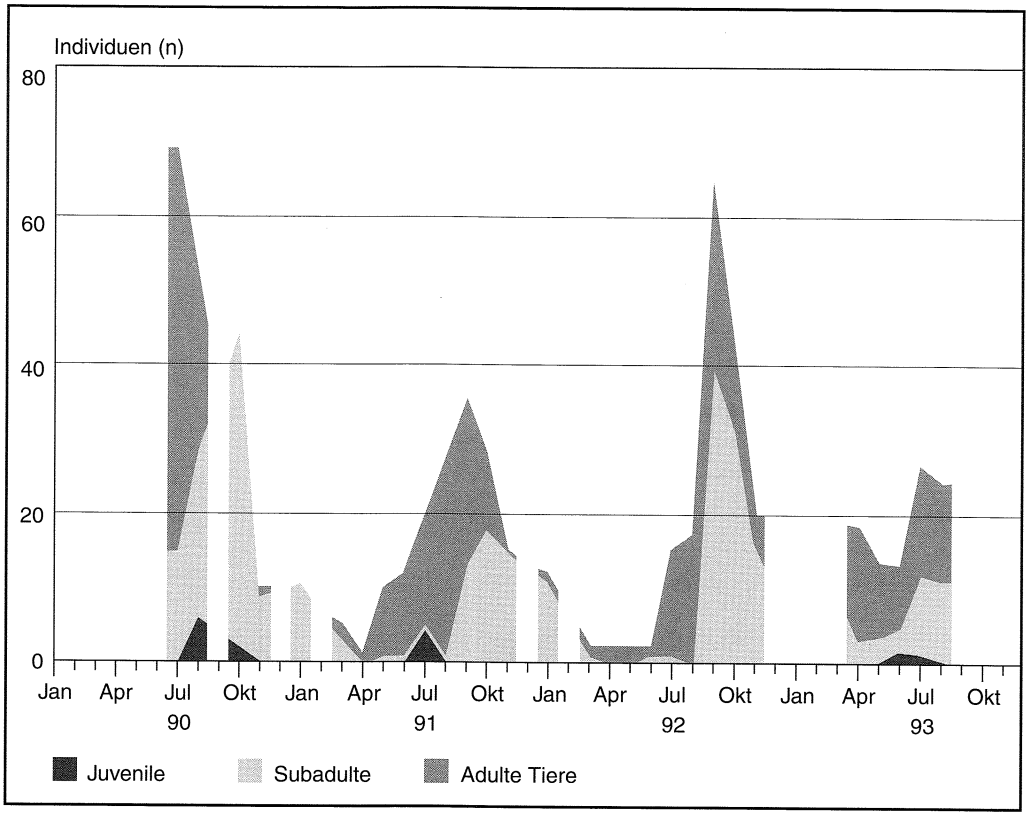


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der nach MNA bestimmten Populationsgröße von Juli 1990 bis August 1993 und Aufteilung der Gesamtpopulation auf die drei Altersklassen Adulte, Subadulte und Juvenile; die Werte vom Mai und Juni 1993 sind gemittelt. Die Kurve ist in den Zeiträumen unterbrochen, in denen nicht gefangen wurde.

Während 1990 mit 71 und 1992 mit 62 Individuen jeweils große Bestandszahlen auftraten, war die Population 1991 und 1993 deutlich kleiner. Die zeitliche Lage des »peaks« schwankte jedoch, wenn man die Ergebnisse von 1990 und 1992 genauer betrachtet. Im ersten Untersuchungsjahr trat das Maximum im Juli, also relativ früh auf, während 1992 die höchste Zahl an Feldmäusen erst im September erreicht wurde. Wie aus der Graphik hervorgeht, war der Anteil der Juvenilen an der Gesamtpopulation während des gesamten Untersuchungszeitraumes gering. Die anderen beiden Klassen machten je nach betrachtetem Monat einen unterschiedlich großen Anteil an der Population aus. Adulte Feldmäuse traten in größerer Zahl nur im Sommer zwischen Mai und August auf. Im Jahr 1990 trat die maximale Individuenzahl adulter Tiere auf, die zu keinem anderen Zeitpunkt wieder erreicht wurde. Doch diesem »peak« folgte ein starker Abfall, und bereits im August waren nur noch wenige und im September gar keine erwachsenen Tiere mehr vertreten. Im Gegensatz dazu sank die Zahl adulter Feldmäuse in den anderen Jahren im Herbst langsam ab. Subadulte Individuen erschienen in der Regel frühestens im Juni in den Fallen und konnten dann den gesamten Herbst und Winter hindurch erfaßt werden. Der Anteil von subadulten Individuen an der Feldmauspopulation stieg stets zum Herbst hin an, wobei im Oktober 1990 mit 42 und im September 1992 mit 40 Tieren die Maxima zu verzeichnen waren.

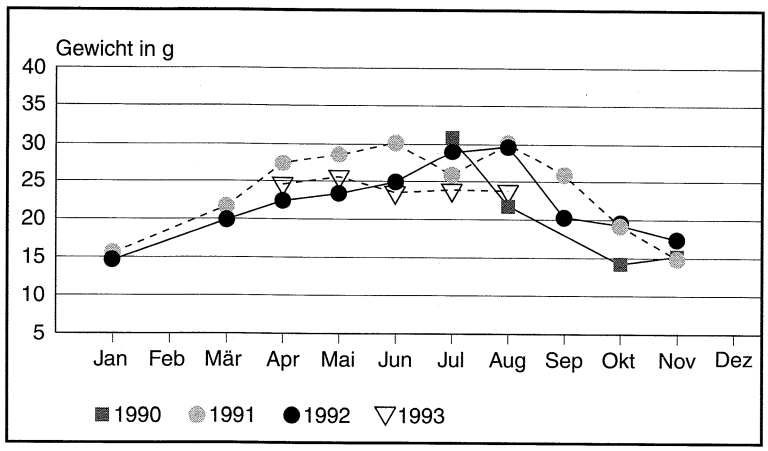


Abb. 3: Monatliche, aus allen Fängen berechnete Durchschnittsgewichte für die vier Untersuchungsjahre; zur Berechnung wurden alle Altersgruppen herangezogen.

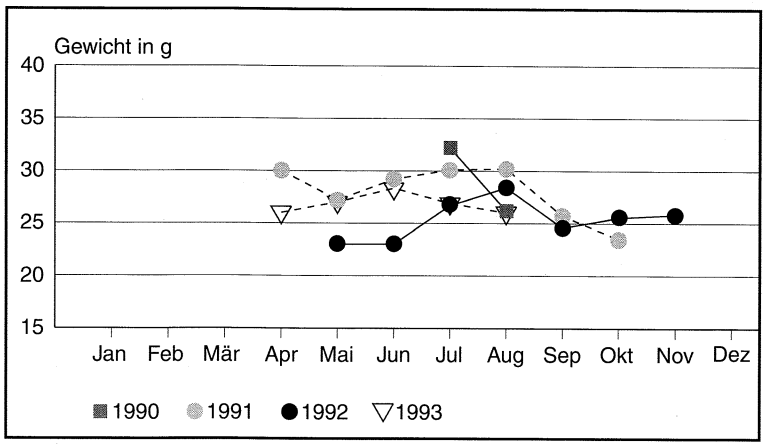


Abb. 4: Monatliche, aus allen Fängen adulter Weibchen berechnete Durchschnittsgewichte für die vier Untersuchungsjahre.

3.2.2 Gewichte

Die Unterschiede des Durchschnittsgewichtes im Jahresverlauf zeigt Abbildung 3 für alle Untersuchungsjahre.

Wie diese Abbildung deutlich macht, war in allen Jahren der jahreszeitliche Verlauf des mittleren Gewichtes ähnlich. So war dieses im Wintermonat Januar am niedrigsten, stieg dann mit dem Fortschreiten des Frühjahrs an und erreichte sein Maximum im Sommer. Zum Herbst hin sank die Kurve dann allmählich bis auf den minimalen Wert im November ab. Die Steigung der Kurven war jedoch je nach Jahr verschieden. Der höchste Wert des Durchschnittsgewichtes wurde im Juli 1990 registriert. Bereits einen Monat später war der Wert stark abgefallen und lag nun unter dem aller übrigen Jahre. Auch im Oktober und November 1990 trat ein niedrigeres mittleres Gewicht auf als sonst. 1991 übertraf das Durchschnittsgewicht von Januar bis Juni und im September das der übrigen Jahre. 1992 war ein kontinuierlicher Anstieg des Durchschnittsgewichtes von Januar bis August zu verzeichnen. Im Juli (1992) wurde mit 29,1 g ein Wert erreicht, der nur wenig unter dem von 1990, aber über dem der anderen beiden Jahre lag. Im Herbst bewegte sich das Durchschnittsgewicht des Jahres 1992 zwischen den Werten von 1991 und 1990. Im letzten Untersuchungsjahr, 1993, blieb das mittlere Gewicht

von April bis August etwa auf einem Niveau. Das Durchschnitttsgewicht der Monate Juli und August unterscheidet sich zwischen den Jahren nicht signifikant.

Abbildung 4 zeigt die Durchschnittsgewichte der adulten Weibchen.

Dieser Abbildung sind deutliche Unterschiede der mittleren Gewichte der adulten Weibchen (je nach betrachtetem Jahr) zu entnehmen. Bemerkenswert ist der maximale Wert von 32,2 g im Juli 1990, der in keinem anderen Jahr erreicht wurde. Nach Ergebnissen des t-Tests ist dieser Wert von allen anderen Jahren aber nicht signifikant verschieden. Im August war das mittlere Gewicht bereits deutlich abgesunken. 1991 dagegen bewegte sich die Kurve von April bis August zwischen 27,2 und 30,2 g, um dann auf im Herbst auf etwa 25 g abzufallen. 1992 wurden im Vergleich zu den anderen Untersuchungsjahren in den Monaten Mai und Juni die niedrigsten mittleren Gewichte der Weibchen registriert. Bis zum August stieg die Kurve relativ steil an, sank im September wieder ab und stabilisierte sich dann im Oktober und November. Ein symmetrisches Bild ist 1993 zu erkennen. Von April an erfolgte ein langsamer Anstieg bis zum Maximum von 28,3 g, das bereits im Juni auftrat; danach sank das mittlere Gewicht kontinuierlich und erreichte im August wieder den Wert von April, lag also in diesem Monat mit 26 g deutlich niedriger als in den anderen Jahren.

3.2.3 Raumnutzung der Population

Nach FRANK (1954) ändert sich je nach Populationsgröße die räumliche Struktur einer Feldmauspopulation. Mit steigender Dichte sinkt die Revier-Größe der Weibchen, bis sich schließlich zwei oder mehr Weibchen in einem Gebiet fortpflanzen. Für die Sommermonate Juli und August, in denen die meisten reproduzierenden Weibchen gefangen wurden, wurde die genaue Zusammensetzung der Fänge jedes Fallenstandortes analysiert und in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

Im ersten Monat, Juli 1990, waren alle drei Weibchenkategorien (Einzelweibchen, Weibchenpärchen und mehr als 2 Weibchen) mit fünf bzw. sechs Fallenstandorten annähernd gleich häufig auf der Hauptuntersuchungs-Fläche vertreten. In diesem Monat war gleichzeitig ein Maximum der Populationsgröße zu beobachten. Das Vorkommen von »vielen Weibchen« an einem Fallenstandort blieb auf den Juli 1990 beschränkt. Im August 1990 wurden an zehn Standorten einzelne Weibchen und an einem Standort ein Weibchenpaar nachgewiesen. In allen drei betrachteten Monaten des Jahres 1991 dominierten die Einzelweibchen deutlich. Nur im August und

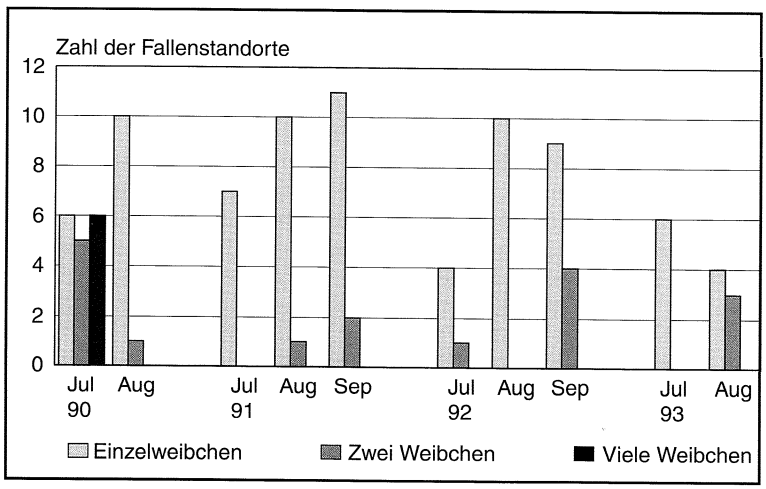


Abb. 5: Zahl der Fallenstandorte mit Einzelweibchen, 2 Weibchen und vielen (mehr als 2) Weibchen in den Monaten Juli und August 1990 bis 1993; berücksichtigt wurden nur sexuell aktive Weibchen; im Monat September 1990 und 1993 wurde nicht gefangen.

September 1991 konnten zwei Weibchen an einem Standort gefangen werden. Auch 1992 reproduzierten die sexuell aktiven Weibchen in der Mehrzahl allein; im Juli konnten jedoch einmal und im September viermal »Weibchenpärchen« registriert werden. Mit vier Standorten, an denen zwei Weibchen gefangen wurden, erreichte die Zahl der »Weibchenpärchen« im September 1992 fast den Wert vom Juli 1990 und war damit der zweithöchste überhaupt. Im September 1992 war ebenfalls, wie im Juli 1990, ein Populationsmaximum zu verzeichnen (vgl. Abb. 2). Auch 1993 waren einzelne Weibchen am häufigsten auf der Fläche zu finden. Im August 1993 war das Verhältnis zwischen einzeln und paarweise auftretenden Weibchen jedoch beinahe ausgeglichen.

3.3 Diskussion

3.3.1 Zeitlicher Populationsverlauf und Populationszusammensetzung

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes folgte die Populationsgröße im Jahresverlauf einem bestimmten Schema, das den typischen Verhältnissen für Mitteleuropa entsprach. So trat in allen Untersuchungsjahren eine Reduktion der Populationsgröße während des Winters auf, ehe die Zahl der Feldmäuse dann kontinuierlich vom Frühjahr bis zum Herbst anstieg. Auch andere Autoren konnten diesen zeitlichen Verlauf der Populationsgröße bei *Microtus arvalis* in Mitteleuropa feststellen (ADAMCZWESKA-ANDREZE-JEWSKA & NABAGLO, 1977; HEISE & STUBBE, 1987; MACKIN-ROGALSKA et al., 1986). Interessanterweise trat jedoch die höchste Zahl der Individuen in den einzelnen Jahren zu unterschiedlichen Zeiten auf. Während 1990 wie 1993 das Maximum bereits im Juli erreicht wurde, war in den Jahren 1991 und 1992 die Zahl der Feldmäuse im September am höchsten (vgl. Abb. 2). Die Populationsentwicklung wird nach HEISE & STUBBE (1987) vor allem durch den Zeitpunkt des Fortpflanzungsbeginns im Frühjahr beeinflußt. Tatsächlich war die Zahl der sexuell aktiven Feldmäuse im Frühjahr 1992 sehr klein, wenn man sie mit den Daten der anderen Jahre vergleicht. So traten bis zum Juli keine sexuell aktiven Weibchen und Männchen auf und junge, also »neu« geborene, Tiere fehlten bis zum Monat September völlig (SCHÖN, 1995). Die Fortpflanzung begann also 1992 sehr spät, zwischen Juli und August. 1993 nun, dem Jahr mit einem Juli-Maximum, traten bereits im April sexuell aktive und juvenile Mäuse auf, die Reproduktion begann also sehr früh im Frühjahr. Für den Zeitpunkt des Populationsmaximums ist also der Fortpflanzungsbeginn der erwachsenen Tiere von entscheidender Bedeutung.

Als adulte Tiere wurden alle die Mäuse eingestuft, die aufgrund ihres Gewichtes das Potential zur sexuellen Aktivität haben. Adulte Tiere tauchen in der Population vom späteren Frühjahr bis zum Herbst auf (s. Abb. 2). Zur Gruppe der Adulten zählen die Individuen, die als subadulte überwintert haben und nun sexuell aktiv werden. Aber auch Feldmäuse aus den Frühjahrswürfen können je nach den herrschenden Nahrungs- und Witterungsbedingungen noch im Jahr ihrer Geburt sexuell aktiv und somit erwachsen werden (REICHSTEIN, 1964). Eine Unterscheidung der Tiere nach Überwinterten und Frühgeborenen war auf den Lahnbergen jedoch nicht möglich, da kaum überwinterte Tiere wiedergefangen wurden und die Altersseinteilung nach Gewicht eine solche Differenzierung nicht erlaubt. Im Juli 1990 war zunächst eine sehr hohe Zahl sexuell aktiver Weibchen festzustellen (SCHÖN, 1995), ehe die erwachsenen Tiere dann rapide verschwanden (s. Abb. 2) und im Oktober überhaupt keine adulte Feldmaus mehr auf der Fläche nachzuweisen war.

Das Fehlen der erwachsenen Tiere bei den Fängen könnte mit der hohen Populationsdichte dieses Jahres zusammenhängen. Denn verschiedene Autoren haben eine Dominanz der Jungtiere in Jahren hoher Dichte festgestellt (ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA & NABAGLO, 1977; CHELKOWSKA, 1977; MORAVEC, 1985). Mit diesem Phänomen geht ein frühzeitiger Abbruch der Reproduktionsperiode einher, wie ihn MORAVEC (1985), PELIKAN (1959) und STEIN (1952) beschreiben. Auch auf den Lahnbergen sank die Zahl der sexuell

aktiven Weibchen von 24 im Juli auf 11 im August 1990 ab (SCHÖN, 1995). In den anderen Untersuchungsjahren mit niedrigeren Sommer-Dichten fehlte dieser Effekt dagegen. So verringerte sich in den Jahren 1991 bis 1992 die Zahl der adulten Tiere vom Frühjahr bis zum Herbst gleichmäßig.

Eine große Zahl sexuell aktiver Tiere bedeutet ein hohes Reproduktionspotential und bewirkt damit ein Anwachsen der Population. So war gleichfalls in den Arbeiten von ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA & NABAGLO (1977), HAMER et al. (1977) und NABAGLO (1981) eine größere Zahl sexuell aktiver Weibchen bei hohen Dichten präsent. Die Zahl der sich fortpflanzenden Weibchen hat damit großen Einfluß auf die Zahl der subadulten Feldmäuse.

Die Altersklasse der Subadulten umfaßt während der Vegetationsperiode die relativ jungen Feldmäuse, die gerade von der Mutter entwöhnt sind und nun selbständig leben. Mit der Dauer der Reproduktionsperiode steigt gleichzeitig die Zahl der subadulten Individuen an und erreicht ihr Maximum im Herbst (ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA & NABAGLO, 1977). Im Jahr 1990 dagegen waren die Subadulten bereits im Sommer die dominierende Altersklasse. Im August wurden im Vergleich zu den anderen Jahren verhältnismäßig viele und im September nur noch subadulte Feldmäuse gefangen. Im Jahr 1991 folgte die Lahnberge-Population in ihrer Zusammensetzung dem von ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA & NABAGLO (1977) beschriebenen Verlauf – typisch war der allmählich Anstieg in der Zahl der subadulten Feldmäuse mit einem Maximum im Herbst (Abb. 2). Demgegenüber dauerte es 1992 aufgrund der verspätet einsetzenden Reproduktion bis zum September, ehe subadulte Feldmäuse in der Population in größeren Zahlen auftraten. Im Gegensatz dazu war die Population 1993 durch eine sehr früh beginnende Reproduktionsperiode gekennzeichnet, in der bereits im April subadulte Tiere zu fangen waren.

Juvenile Tiere mit einem Gewicht kleiner als 12 g traten in allen Untersuchungsmonaten nur selten auf. Solche Jungtiere werden gerade erst von der Mutter unabhängig und machen ihre ersten Streifzüge. Sie sind daher räumlich nicht so aktiv wie die älteren Feldmäuse, so daß für sie die Wahrscheinlichkeit, in einer Falle gefangen zu werden, geringer ist.

Abschließend bleibt festzustellen, daß die Zusammensetzung der Population – insbesondere der Anteil der subadulten Tiere – in entscheidender Weise vom Beginn der Reproduktionsperiode und der Zahl der sexuell aktiven Tiere bestimmt wird.

3.3.2 Gewichte

Im folgenden werden aufgrund der Datenfülle bei den mittleren Gewichtsverläufen der Feldmäuse nur die wichtigsten Gemeinsamkeiten oder Unterschiede der Jahre diskutiert. Auch bei der Darstellung der Durchschnittsgewichte der gesamten Feldmauspopulation (Abb. 3) fällt der Juli 1990 durch den höchsten Wert überhaupt auf; dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant. Er wird vor allem durch die hohe Zahl sexuell aktiver, besonders schwerer Weibchen verursacht, da dieser Effekt bei der graphischen Darstellung der durchschnittlichen Gewichte adulter Männchen nicht mehr auftrat (Daten nicht gezeigt) und nach STEIN (1958) der Wurf bis zu 53 % des Körpergewichtes eines Weibchens ausmachen kann. Im weiteren Verlauf des Jahres 1990 sank das mittlere Gewicht der gesamten Population dann jedoch tiefer ab als in allen anderen Jahren. Dieser plötzliche Gewichtsabfall wurde durch den frühzeitigen Abbruch der Reproduktion im Jahr 1990 verursacht, der mit einem Verschwinden der adulten Tiere einherging. Fehlen die schwereren, erwachsenen Tiere, ist damit das Durchschnittsgewicht der gesamten Population erniedrigt. In den anderen Jahren dagegen war der Abfall vom Sommer zum Herbst weniger steil, da noch im Herbst erwachsene Tiere auf der Fläche nachzuweisen waren (Abb. 2). Allen Jahren gemeinsam war der allmähliche Anstieg des mittleren Gewichtes vom Winter zum späten Frühjahr, der mit dem Wachstum der überwinternden Feldmäuse zusammenhängt. Sie legen an Gewicht zu und werden damit gleich-

zeitig sexuell aktiv (REICHSTEIN, 1964). Im November jedes Jahres pendelte sich das Durchschnittsgewicht der gesamten Population ebenfalls auf einem gemeinsamen Niveau ein. Es ist schon lange bekannt, daß Feldmäuse im Herbst nicht mehr weiter zunehmen, sondern mit einem Gewicht zwischen 15 und 18 g überwintern (REICHSTEIN, 1964). Die enge Beziehung zwischen dem Reproduktionspotential der Weibchen und der Zahl der Jungtiere wird noch einmal besonders deutlich.

Interessanterweise erreichte das maximale, mittlere Körpergewicht der Weibchen 1991 bis 1993 genau einen Monat vor dem »peak« in der Populationsgröße sein Maximum (vgl. Abb. 4). Zum Zeitpunkt des höchsten Durchschnittsgewichtes waren also die meisten Weibchen trächtig, einen Monat später hatten sie bereits geworfen und die ersten Jungen wurden selbständig.

3.3.3 Räumliche Struktur der Population

Nach FRANK (1957) wird die Populationsgröße in entscheidendem Maß von der räumlichen Verteilung der sexuell aktiven Weibchen beeinflußt. Bei steigenden Dichten teilen sich mehrere Weibchen, insbesondere Mütter und ihre Töchter, ein Revier und pflanzen sich dort gemeinsam fort. Auch auf den Lahnbergen konnte dieses Phänomen nachgewiesen werden. Im Juli 1990, dem Monat mit der höchsten Dichte, wurden an sechs Stellen – am gleichen Fallenstandort – mehr als 2 Weibchen gefangen (s. Abb. 5). In den übrigen Jahren waren in den Sommermonaten dagegen höchstens zwei Weibchen an einem Standort zu fangen, wobei die Zahl dieser Standorte ebenfalls mit der Populationsgröße zusammenhing: im Juli 1990 und September 1992, den Zeitpunkten der Dichtemaxima, war die höchste Zahl von Standorten mit zwei Weibchen zu verzeichnen. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, daß ein Fang an einem Standort nicht gleichbedeutend mit einem Zusammenleben in einem Bau ist. Werden jedoch zwei oder mehr Weibchen an einem Fallenstandort gefangen, ist zumindest die exklusive territoriale Nutzung des Einzugsgebietes der entsprechenden Falle aufgehoben. In anderen Untersuchungen fehlte dieser Effekt dagegen. So traten bei den Arbeiten von BOYCE & BOYCE (1988 a und b) Gruppenweibchen bei jeder Populationsdichte auf, Einzelweibchen dagegen nur bei hohen Dichten. Diese Autoren konnten jedoch auf ihrer Fläche überhaupt nur zwei Gruppen mit mehreren Weibchen nachweisen, die gemeinsam reproduzierten, weshalb ihre Aussagen im Bezug auf die Populationsdichte nicht zu verallgemeinern sind. Auch REICHSTEIN (1960) fand keine Überlappung der Weibchenreviere, was jedoch auf eine im Vergleich zu den Lahnbergen und dem Jahr 1990 zu geringe Dichte zurückzuführen sein dürfte. Nach STEIN (1957) adoptieren Feldmausweibchen auch fremde Junge. Dieses Verhalten spricht ebenso für gemeinschaftliche Nester von Weibchen wie die gemeinsame Verteidigung von Revieren. Im Gehegeversuch bildeten sich stets mehrere Feldmausgruppen, die ihr Revier zusammen verteidigten (BLUMENBERG, 1986; DE JONGE, 1983). Alle diese Verhaltensweisen lassen eine gemeinsame Reproduktion von Weibchen in einem Gebiet als wahrscheinlich erscheinen. Das gleiche Phänomen trat auch bei anderen Arten wie *Microtus californicus* (HESKE, 1987), *Microtus ochrogaster* im Winter (GETZ, et al. 1990) und *Microtus agrestis* (VIITALA & PUSENIUS, 1990) auf.

Nach MADISON (1990) kann eine Art je nach Jahreszeit und geographischer Region verschiedene Formen der sozialen Organisation haben, die Artgenossen agieren also je nach den vorliegenden Umweltbedingungen verschieden miteinander. Dieser gedankliche Ansatz könnte die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Autoren erklären. Daß die räumliche Organisation bei *Microtus arvalis* verschieden ausfallen kann, belegt auch der Vergleich für die Weibchen der Jahre 1990 und 1992. Während 1990 die Strategie der Reproduktion auf engstem Raum verfolgt wurde, war dies 1992 bei hohen Dichten nicht der Fall. Zusammenfassend bleibt jedoch festzustellen, daß die Tendenz zur gemeinsamen Jungenaufzucht mehrerer Weibchen in einem Revier, die mit einer Aufgabe der exklusiven, territorialen Nutzung einhergeht, eine der Ursachen dafür ist, daß

Feldmäuse bei optimalen Bedingungen sehr schnell hohe Populationsdichten erreichen können.

3.3.4 Die Dichtewerte Marburgs im europäischen Vergleich

Um die Populationsmaxima, die 1990 und 1992 auf den Lahnbergen auftraten, besser einordnen zu können, erfolgt in diesem Kapitel der Vergleich der Dichtewerte pro ha mit anderen Angaben aus der einschlägigen Literatur.

Berechnet man für Marburg die maximale Dichte pro Hektar und bezieht dabei die gesamte Haupt-Untersuchungsfläche ein, ergibt sich für 1990 ein Wert von 101 Individuen pro Hektar und für 1992 ein Wert von 93 Feldmäusen pro Hektar. Diese Zahlenangaben liegen deutlich unter denen, die andere Bearbeiter für ein Feldmausmaximum nennen. Aber andere Daten, wie die von ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA & NABAGLO (1977) oder MACKIN-ROGALSKA et al. (1986), die 600 bzw. 500 Tiere pro Hektar fingen, sind nicht direkt mit den Lahnbergen zu vergleichen, da die Feldmäuse auf Luzernenfeldern lebten, die eingezäunt waren und die Mäuse nicht abwandern konnten. Ähnliches gilt für die Untersuchung in einem Obstgarten in Bayreuth (BOYCE & BOYCE, 1988 b), bei der nicht die direkte Individuenzahl zur Berechnung des Dichtewertes von 1333/ha herangezogen wurde, sondern die nach Jolly-Seber ermittelte Populationsgröße. Selbst wenn man die genannten Angaben einschränkt, bleiben noch genügend Werte aus der Literatur übrig, die die Dichte der Lahnberge deutlich übertreffen. GIBAN (1974) beschrieb für Frankreich Dichten von 500/ha, REICHSTEIN (1956) ermittelte mit Leerfang-Experimenten 200/ha, den gleichen Wert berechnete auch SPITZ (1967). Nur bei HALLE (1987), der Feldmäuse in einem Tagebau-Rekultivierungsgebiet fing, lag die maximale Dichte mit 60 Tieren pro Hektar unter dem Höchstwert der Lahnberge. Worauf könnte nun dieser niedrige Wert der Lahnberge zurückzuführen sein?

In die Dichteberechnung ging die gesamte Untersuchungsfläche ein, die im Gegensatz zu den anderen Arbeiten fragmentiert ist. Es ist jedoch nicht sinnvoll, die 1992 auf den Lahnbergen auftretende Dichte von 93/ha auf eine Wiese umzurechnen, da in diesem Jahr die Reproduktion auf allen Einzelwiesen erfolgte und sich die Dichte synchron auf allen einzelnen Flächen veränderte (SCHÖN, 1995). Im Gegensatz dazu war 1990 die Mehrzahl der Fänge und auch die Reproduktion nur auf Wiese I beschränkt (SCHÖN, 1995). Daher wäre es für Vergleichszwecke besser, die Dichte von Wiese I zu bestimmen. Ein Problem stellt dabei jedoch ihre geringe Größe von 0,31 ha dar, die deutlich unter der Dimension anderer Untersuchungsgebiete liegt. Führt man dennoch die Dichteberechnung für den Maximalwert vom Juli 1990 und Wiese I durch, auf der in diesem Monat 63 Individuen gefangen wurden, ergibt sich eine Dichte von 200 Individuen pro Hektar, die im Rahmen der bereits genannten Arbeiten liegt. Ein höherer Wert ist auf den Lahnbergen auch nicht unbedingt zu erwarten, da *Microtus arvalis* in primären Lebensräumen wie Wiesen keine so hohen Dichten erreichen kann wie auf Agrarland mit seinen optimalen Nahrungsbedingungen (STEIN, 1952).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß auf der Haupt-Untersuchungsfläche nur im Jahr 1990 auf Wiese I eine so hohe Dichte erreicht wurde, daß man von einem »Maximum« sprechen kann. 1992 war dies dagegen nicht der Fall. Für weitere Aussagen sind langfristige Untersuchungen dringend notwendig, die auch andere Wiesenflächen im Marburger Raum mit einbeziehen.

3.3.5 Mehrjährige Populationszyklen?

Es wäre sicher vermessen, nach vier Untersuchungsjahren bereits von zyklischen Schwankungen der Bestandszahlen von *Microtus arvalis* auf den Lahnbergen sprechen zu wollen, wenn eine Zyklusperiode nach HEISE & STUBBE (1987) bis zu vier Jahre umfassen kann. Aber Tendenzen in der Fluktuation der Populationsgröße können auch nach vier Jahren schon erkannt werden.

Betrachtet man zunächst nur die Schwankungen der Zahl der Feldmäuse auf den Lahnbergen für den gesamten Untersuchungszeitraum, so treten zwei Maxima im Jahr 1990 und 1992 auf. Man könnte also auf den ersten Blick von zweijährigen Zyklen sprechen. Ob aber tatsächlich alle zwei Jahre ein Populationsmaximum auf den Lahnbergen wahrscheinlich ist, läßt sich erst nach der Diskussion weiterer Populationsparameter sagen.

1990 war durch eine sehr hohe Dichte im Juli gekennzeichnet, die von einem Zusammenbruch der Fortpflanzung und dem Verschwinden der adulten Tiere gefolgt war. Wie bereits erwähnt wurde, sind diese auftretenden Effekte typisch für hohe Feldmausdichten. Auch HEISE et al. (1982) deuteten die abbrechende Reproduktion von Feldmausweibchen im Sommer als Hinweis für einen Populationszusammenbruch, ähnlich wie die von BÄUMLER (1979) für die Erdmaus festgestellte »Sommerkrise«. Im Jahr 1992 fehlte jedoch der Populationszusammenbruch auf den Lahnbergen, da in diesem Jahr das Maximum erst im Herbst erreicht wurde.

Mehrere Autoren beschreiben den Zusammenbruch der Feldmauspopulation nach einem Massenjahr im Winter (BLUMENBERG, 1980; FRANK, 1954) – dieser Zusammenbruch blieb im Winter 1992/1993 in Marburg jedoch aus, wie die relativ hohen Populationszahlen im Frühjahr 1993 belegen. Auch setzte die Reproduktion 1993 relativ früh ein (SCHÖN, 1995) und war nicht auffällig verzögert, wie es FRANK (1957) für das Folgejahr nach einem Populationsmaximum als typisch beschreibt.

Nach FRANK (1954 und 1957) ändert sich die räumliche Populationsstruktur von Feldmäusen bei hohen Dichten. Dann reproduzieren zunehmend mehrere Weibchen in einem Revier. Auf den Lahnbergen trat dieser Effekt jedoch nur im Jahr 1990 auf, 1992 war nur die Zahl der Fallenstandorte etwas höher, an denen zwei Weibchen gleichzeitig gefangen wurden.

Ein weiterer Hinweis für zyklische Populationsschwankungen könnte das Durchschnittsgewicht der Population sein, daß nach CHITTY (1967) in »peak« Jahren deutlich erhöht ist. Zwar lag das mittlere Gewicht im Juli 1990 über dem aller anderer Monate, dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Und im Gegensatz zu den Befunden von CHITTY waren nicht alle Populationsgruppen schwerer als sonst, sondern das erhöhte Gewicht war 1990 allein den adulten Weibchen zuzuschreiben.

Alle bisher vorgestellten Punkte sprechen nicht dafür, daß auf den Lahnbergen tatsächlich ein zweijähriger Populationszyklus vertreten ist, da das Jahr 1992 nicht unbedingt als ein »peak«-Jahr eingeordnet werden kann. Für diese Ansicht sprechen auch die Dichtewerte in Individuen pro Hektar, die im vorangegangenen Kapitel diskutiert wurden und die nur im Juli 1990 auf den Lahnbergen auf Wiese I so hoch waren, daß man von einer hohen Feldmausdichte sprechen kann.

Geht man also davon aus, daß die vorliegenden, zweijährigen Populationsschwankungen nicht zyklisch waren, gibt es zwei Möglichkeiten der Deutung. Zwar beschreibt die Mehrzahl der Feldmausbearbeiter dreijährige Zyklen (BETHGE, 1982; FRANK, 1957; HEISE & STUBBE, 1987; LAUENSTEIN, 1979; STEIN, 1958), aber es wird immer wieder darauf hingewiesen, daß durch Witterungseinflüsse auch vierjährige Zyklen auftreten können (FRANK, 1957; HEISE & STUBBE, 1987). WENDLAND (1981) stellte für den Spandauer Forst bei Berlin im Laufe von 28 Jahren sogar nur vierjährige Zyklen für *Microtus arvalis* fest. Es wird also in diesem Zusammenhang sehr interessant werden, die Populationsentwicklung im Jahr 1994 zu verfolgen. Die Ergebnisse von 1990, die auf eine Massenentwicklung schliessen lassen, machen das Auftreten regelmäßiger Fluktuationen wahrscheinlich.

Ob die Feldmauspopulation der Lahnberge tatsächlich regelmäßigen Zyklen unterworfen ist, können aber nur weitere, langjährige Studien zeigen.

Es ist ferner denkbar, daß auf den Lahnbergen gar keine regelmäßigen Populationsschwan-

kungen auftreten, wofür auch die insgesamt eher geringe Dichte pro Hektar sprechen würde.

MIGULA et al. (1970) stellten bei der Analyse von Feldmausplagen in Polen fest, daß es Gebiete gibt, in denen nur leichte und sporadische Fluktuationen auftreten. Die Auswertungen von MACKIN-ROGALSKA & NABAGLO (1990) ergaben außerdem, daß der Index der Zyklizität, der zyklische Schwankungsmuster anzeigt, von Norden nach Süden abnimmt und Feldmauspopulationen häufig keine reinen Sinus-Funktionen in ihren Schwankungen zeigen. In dieser polnischen Arbeit konnte immerhin für 77,5 % der 36 analysierten Populationen Zyklizität nachgewiesen werden.

Die Fragmentierung der Lahnberge könnte ein weiterer Grund für fehlende, regelmäßige Schwankungen sein, da nach den gleichen Autoren regelmäßige Zyklen eher in großen, homogenen »patches« auftreten, wie wir sie aus der Kulturlandschaft kennen, aber nicht unbedingt von den Lahnbergen.

Aber diese Problematik wird sich erst nach weiteren, mehrjährigen Studien endgültig klären lassen.

4. Molekularbiologie

4.1 Material und Methoden

4.1.1 Isolierung der DNA

Tote Feldmäuse verschiedener Herkunft wurden seziert, ihre Leber für die Isolierung der DNA entnommen und eingefroren. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Herkunft der Proben. Die Tiere der Lahnberge waren solche Individuen, die während des Fangens in der Lebendfalle aus ungeklärten Gründen gestorben waren. Die Feldmäuse aus den anderen Gebieten wurden der Autorin von anderen Bearbeitern freundlicherweise überlassen. Mit Ausnahme der Wetterau-Tiere, die mit Schlagfallen gefangen worden waren, waren alle anderen Mäuse beim Lebendfang gestorben.

Ort	Jahr	Probenzahl
Lahnberge	1990	23
	1991	11
	1992	4
Bauerbach	1992	6
Schröck	1992	8
Dreihausen	1992	3
Wetterau	1989	6
Borken	1992	10
Gesamt		77

Tabelle 1: Herkunft der Proben von toten Feldmäusen

Von allen Proben wurde aus 200 mg Leber nach dem in SAMBROOK et al. (1992) beschriebenen Verfahren DNA isoliert und ihre Konzentration photometrisch bei 260 nm bestimmt.

4.1.2 Blutproben

Allen auf den Lahnbergen lebend gefangenen Feldmäusen wurde, wie bereits erwähnt, einmal Blut an der Schwanzspitze entnommen und für spätere Analysen eingefroren. Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung der Proben auf die einzelnen Jahre und Untersuchungsgebiete.

Tabelle 2: Herkunft der Blutproben

Ort	Jahr	Probenzahl
Lahnberge	1991	132
	1992	111
Lahnberge, Sonderstandorte	1991	20
	1992	2
Bauerbach	1992	20
Schröck	1992	24
Gesamt		309

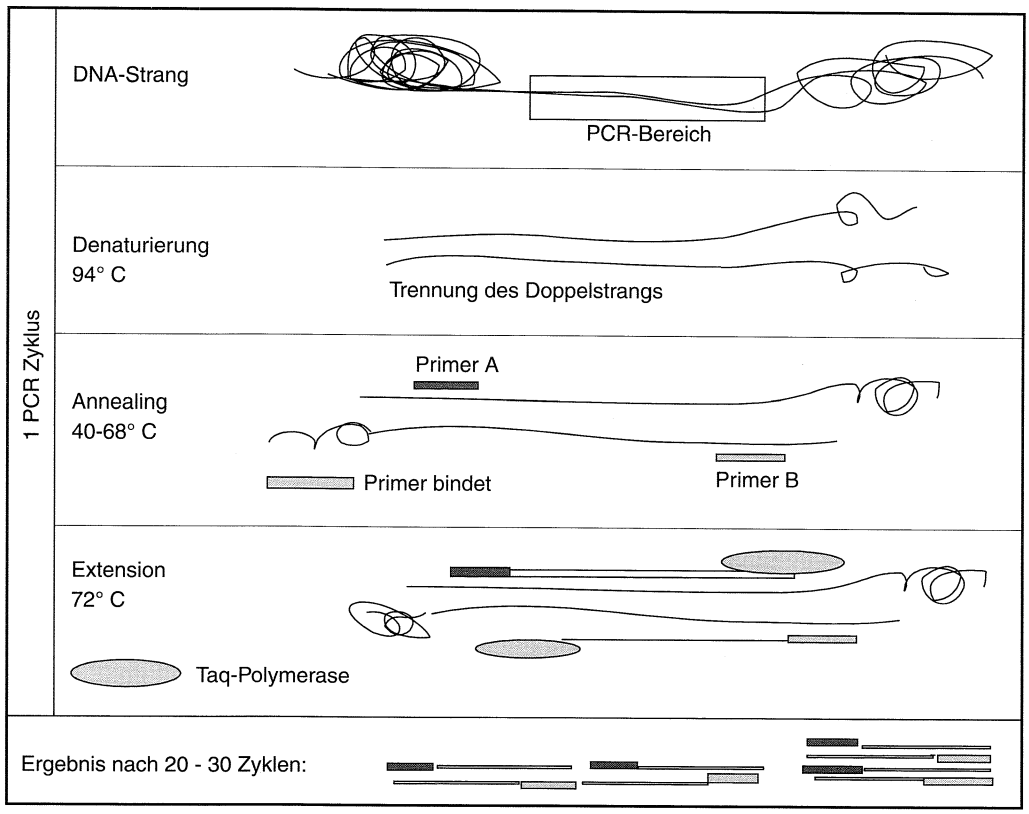


Abb. 6: Schematischer Ablauf der Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR)

Aufgrund der geringen Volumina zwischen 20 und 200 µl. die jedem Tier entnommen werden konnten, war eine DNA-Extraktion aus dem Blut nicht möglich. Stattdessen wurde ein Aliquot von 8 µl Blut mit einem speziellen Puffer nach RASSMANN (1992) für 10 Minuten gekocht und dann direkt in der PCR eingesetzt.

4.1.3 Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR)

Bei der PCR (siehe Abbildung 6) wird ein bestimmter Bereich der DNA mit Hilfe eines Enzyms zyklisch vervielfältigt. Dazu wird im ersten Schritt, dem »Denaturieren« bei 94–95° C, der DNA-Doppelstrang aufgetrennt. Im zweiten Schritt, dem »Annealing«, binden die Primer, zwei kurze DNA-Stücke bekannter Sequenz, an der Stelle der DNA, an der die Basenpaarungen übereinstimmen. Die Temperatur variiert bei diesem Schritt zwischen 38 und 65° C in Abhängigkeit vom jeweiligen Primer. Im dritten Schritt, der »Extension«, bei 72° C synthetisiert die Taq-Polymerase, beginnend mit dem Primer, einen komplementären Doppelstrang. Dieser Temperaturzyklus wird 20 bis 30 mal wiederholt, so daß der Bereich zwischen beiden Primern am Ende tausendfach vervielfältigt vorliegt. Daher kommt diese Methode mit sehr geringen DNA-Mengen aus.

In der vorliegenden Arbeit wurde mit dieser Methode die mitochondriale DNA untersucht. Diese Erbsubstanz in den Mitochondrien, den Zellorganellen, die der Energieerzeugung dienen, wird von der Mutter an ihre Nachkommen weitergegeben, so daß man auf diese Art mütterliche Linien in einer Population nachweisen

kann. Die Primer für den sog. »d-Loop« wurden von J. E. STACY (Arbeitsgruppe K. E. JAKOBSEN, Universität Oslo) entwickelt und die Reaktionsbedingungen zusammen mit der Autorin optimiert. In 40 µl Gesamtvolumen wurden 1,6 µg DNA, Primer, Nukleotidmix, ein spezieller PCR-Puffer und das Enzym Taq-Polymerase verwendet (weitere Einzelheiten s. SCHÖN, 1995). Bei der Analyse von DNA aus Blut wurde eine Reaktion mit 6 µl Blut-Puffer-Gemisch durchgeführt. Danach schloß sich eine zweite PCR mit 8 µl des ersten PCR-Ansatzes an, da sonst das Reaktionsprodukt in einer so geringen Konzentration vorgelegen hätte, daß weitere Untersuchungen nicht möglich gewesen wären. Alle PCRs erfolgten im TrioThermoBlock (Biometra, Göttingen).

4.1.4 Restriktionsverdau mit Alu I

Die Produkte aller PCR-Reaktionen wurden in Agarose-Gelen mit anschließender Ethidiumbromid-Färbung analysiert. Zeigte sich ein DNA-Fragment der gewünschten Größe (300 Basenpaare), war die Vervielfältigung erfolgreich gewesen. Dann wurden die mitochondrialen PCR-Produkte mit dem Restriktionsenzym *Alu I* nach den Angaben des Herstellers (Boehringer Mannheim) geschnitten. Restriktionsenzyme haben die Eigenschaften, immer an der gleichen Basenfolge in der DNA zu schneiden. Ergeben sich nun zwischen den Individuen Unterschiede in der Basensequenz, zeigen sich nach dem Zerschneiden des PCR-Produktes mit dem Restriktionsenzym verschiedene Bandenmuster. Diese Muster werden in einem zweiten Agarose-Gel (mit Ethidiumbromid) sichtbar gemacht und fotografiert.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 PCR

Von den insgesamt untersuchten 71 DNA-Proben konnte mit 70 die PCR erfolgreich durchgeführt werden. Wurde Blut verwendet, war es möglich, bei 153 von 307 Proben eine PCR mit positivem Ergebnis durchzuführen. Bei den anderen Proben ergab sich nach der PCR keine klar erkennbare Bande.

4.2.2 Restriktionsverdau mit Alu I

Wurden die positiven PCR-Produkte, d.h. die Reaktionsprodukte mit einer definierten DNA-Bande, mit dem Restriktionsenzym *Alu I* geschnitten, ergaben sich zwei unterschiedliche Muster. Wie Abbildung 7 zeigt, schneidet *Alu I* bei einer Gruppe mehrmals, so daß sich mehrere Banden ergeben. Bei der anderen Gruppe von Individuen dagegen schneidet das Enzym nur einmal, so daß dann zwei DNA-Stücke auf dem Gel sichtbar werden.

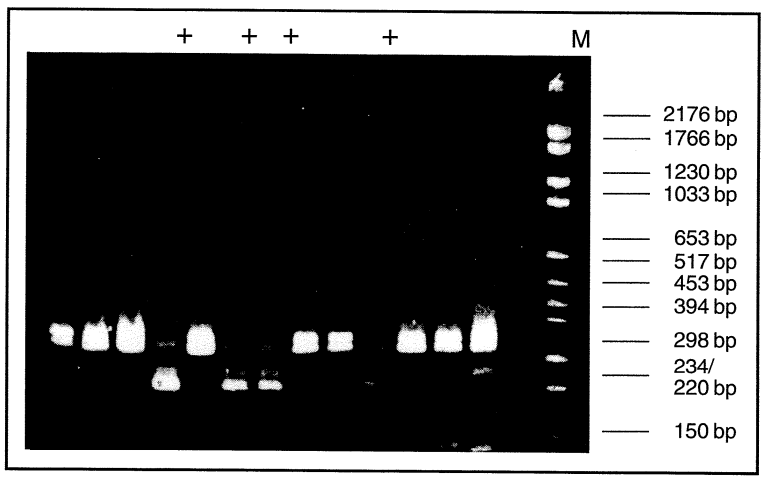


Abb. 7: 1 % Agarose-Gel mit Ethidiumbromidfärbung. Aufgetragen sind die *Alu*-Verdaue der PCR-Produkte von 13 verschiedenen Individuen. Bei einigen Proben (Spur 4, 6, 7 und 10, mit Plus markiert) schnitt *Alu I* mehrmals, bei den anderen nicht.

Ort	Jahr	Positive Probenzahl	Muster A	Muster B
Lahnberge	1990	32	18,8 %	81,2 %
Lahnberge	1991	64	42,2 %	57,8 %
Lahnberge	1992	77	42,9 %	57,1 %
Lahnberge, Sonderstandorte	1991	11	0 %	100 %
Bauerbach	1992	19	31,6 %	68,4 %
Schröck	1992	18	0 %	100 %
Dreihausen	1992	3	0 %	100 %
Borken	1992	9	0 %	100 %
Wetterau	1989	5	0 %	100 %

Tab. 3: Häufigkeit der beiden *Alu*-Bandenmuster in den untersuchten Proben. Muster A bedeutet, daß *Alu* mehrmals schneidet, bei Muster B dagegen nicht.

Tabelle 3 gibt die Verteilung dieser beiden Muster auf die verschiedenen Lokalitäten an.

In Tabelle 3 wird ein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen, untersuchten Gebieten deutlich. Muster A, d.h. mehrere Schnitte von *Alu I*, trat nur auf den Lahnbergen im Hauptuntersuchungsgebiet auf. Die Häufigkeit dieses Musters innerhalb der Population stieg vom Jahr 1990 mit 18 % auf über 42 % in den Jahren 1991 und 1992 an. Feldmäuse von den Sonderstandorten der Lahnberge, also aus dem neuen Botanischen Garten und aus der Umgebung des Fachbereichs Chemie, zeigten das Muster A dagegen gar nicht.

Betrachtet man nun die beiden Orte im Amöneburger Becken, Bauerbach und Schröck, von denen die Besiedlung der Lahnberge ausgegangen sein könnte, war nur in der Bauerbacher Feldmauspopulation das Muster A mit einer Häufigkeit von 31,6 % vertreten, in Schröck dagegen gar nicht.

An den anderen Orten Hessens, von denen ebenfalls Feldmäuse genetisch analysiert wurden, fehlte das Muster A.

4.3 Diskussion

4.3.1 PCR

Die für den d-Loop entwickelten Primer haben bei der Feldmaus, *Microtus arvalis*, gut funktioniert. Fast alle DNA-Proben lieferten in der PCR ein positives Ergebnis. Dies galt aber nur für die Hälfte der Blutproben. Zwar kann mit Hilfe der PCR-Technik DNA in kleinsten Mengen vervielfältigt werden, aber insbesondere bei der Verwendung von Vollblut können Schwierigkeiten auftreten. Das eingesetzte Enzym, die Taq-Polymerase, wird durch einen zu hohen Hämoglobingehalt im Blut in ihrer Aktivität gehemmt, so daß dann keine PCR-Reaktion mit positivem Ergebnis mehr ablaufen kann. Aufgrund der geringen, entnommenen Blutvolumina war eine Abtrennung der roten Blutkörperchen und des in ihnen enthaltenen Hämoglobins nicht möglich. Eine Ursache der negativen PCRs könnte also in einem höheren Hämoglobingehalt dieser Proben liegen.

Erstmalig konnte die mitochondriale DNA von über 200 Feldmaus-Individuen analysiert werden. Die bei der PCR vervielfältigten Fragmente zeigten für alle Tiere die gleiche Größe, so daß eine genetische Variabilität aufgrund unterschiedlich langer Fragmente nicht erkennbar war.

4.3.2 Alu I-Verdaue

Mit Hilfe des Restriktionsenzymes *Alu I* konnten jedoch zwei Gruppen von Individuen unterschieden werden. Wurden andere Restriktionsenzyme (SCHÖN, 1995) eingesetzt, fehlten dagegen Unterschiede zwischen den Feldmausgruppen. Ein Schneiden des PCR-Fragmentes mit dem Restriktionsenzym *Alu I* war bei allen positiven Proben möglich. Dabei traten die schon erwähnten, zwei verschiedenen Bandenmuster auf.

Muster A, bei dem *Alu I* mehrmals schneidet, beruht auf einer anderen Basensequenz als Muster B. Interessanterweise trat Muster A nur bei den Feldmäusen der Lahnberge und aus Bauerbach auf. Damit wird es wahrscheinlich, daß Feldmäuse aus Bauerbach die Lahnberge besiedelt haben. Denn weder in Schröck noch im neuen Botanischen Garten der Lahnberge, der näher zu Schröck als Bauerbach liegt, zeigten die Feldmäuse das Muster A.

Daß die Lahnberge jedoch nur einmal oder von wenigen Feldmäusen kolonisiert wurden, erscheint eher unwahrscheinlich. Dann müßte auch bei den Tieren aus dem neuen Botanischen Garten das Muster A nachweisbar sein, was jedoch nicht der Fall ist. So wäre es denkbar, daß die Wiesen um die Biologie von Feldmäusen aus Bauerbach besiedelt wurden, die im neuen Botanischen Garten dagegen aus Schröck. Diese Hypothese kann jedoch nur mit weiteren, molekulargenetischen Untersuchungen überprüft werden.

Bei einer Sequenzierung des PCR-Fragmentes könnte die genaue Basenfolge ermittelt werden. Mit dieser Methode wäre es möglich, die genetische Ähnlichkeit der Feldmäuse aus den verschiedenen Gebieten noch exakter zu bestimmen.

5. Abschlußbemerkung

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß die Anwendung molekularbiologischer Methoden in der Ökologie sehr erfolgversprechend ist. So konnte mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit der potentielle Ausgangsort der Feldmäuse für die Besiedlung der Lahnberge bestimmt werden. Auch wenn noch nicht alle Beweise dafür erbracht sind, daß Feldmäuse aus Bauerbach die Haupt-Untersuchungsfläche auf den Lahnbergen kolonisiert haben, scheint diese Hypothese aufgrund der vorliegenden Ergebnisse als sehr wahrscheinlich. Die molekulargenetischen Daten lassen vermuten, daß *Microtus arvalis* bei der Besiedlung der Lahnberge mehrmals den Waldgürtel durchquert hat. Denn die Häufigkeit des genetischen Musters A, das nur auf den Lahnbergen und in Bauerbach auftrat, unterscheidet sich zwischen den beiden Orten nicht so stark, daß von einer genetischen Isolierung der Lahnberge-Population ausgegangen werden kann. Muster A war hier in den Jahren 1991 und 1992 mit über 40 % ungefähr genauso häufig wie in Bauerbach mit 31,6 %, aber im Jahr 1990 trat es auf den Lahnbergen nur mit 18 % auf.

Dieser Unterschied in der Häufigkeit könnte mit den Schwankungen in der Populationsgröße auf den Lahnbergen zusammenhängen. Im Jahr 1990 trat ein Maximum in der Populationsdichte auf. Gleichzeitig sank jedoch die Zahl der erwachsenen, sexuell aktiven Feldmäuse, und die Reproduktion brach früh im Jahr ab (vgl. Kapitel 3.2.1). Man kann daher davon ausgehen, daß dieser Populationszusammenbruch im folgenden Jahr, 1991, zu einer Verringerung der Feldmauszahl führte. Für diese Vermutung spricht auch die relativ geringe Populationsgröße im April 1991. Die Zahl der Feldmäuse, die sich fortpflanzte, war also im Jahr 1991 niedriger als im Jahr 1990. Damit sank gleichzeitig auch die genetische Vielfalt der Population. Genetiker bezeichnen diesen Zustand als »genetischen Flaschenhals«, durch den eine Population nach dem Zusammenbruch geht. Pflanzten sich nun 1991, bedingt durch den Populationszusammenbruch, die Individuen mit Muster A zufälligerweise vermehrt fort, steigt damit die Häufigkeit dieses Musters in der gesamten Population an. Tatsächlich war auch eine höhere Frequenz des Musters A im Jahr 1991 zu verzeichnen.

Vergleicht man die Jahre 1991 und 1992, blieb die Häufigkeit des Musters dagegen annähernd konstant. Diesem Ergebnis entspricht

die zeitliche Entwicklung der Populationsgrösse, die keinen Zusammenbruch erfuhr und erst im Herbst 1992 wieder zunahm.

Bis die oben genannten Hypothesen bestätigt werden können, sind noch weitere genetische und populationsökologische Untersuchungen erforderlich. Insbesondere die Methode des »DNA-Fingerprintings« könnte für die vorliegende Fragestellung interessant sein, da mit ihr unter Umständen eine individuelle, genetische Unterscheidung der Feldmäuse zu realisieren ist. Damit wäre es möglich, den Zusammenhang zwischen genetischer Ähnlichkeit und dem Absinken der Populationsgröße zu prüfen. Zumindest kann mit dieser Technik aber auf einem zweiten, unabhängigen Weg verglichen werden, wie sehr sich die einzelnen Populationen auf den Lahnbergen, in Bauerbach und Schröck genetisch gleichen.

Es wäre sehr wünschenswert, wenn die Feldmäuse im Marburger Raum längerfristig mit kombinierten Methoden der Populationsökologie und Molekulargenetik untersucht werden könnten. Nur dann wird es möglich sein, die Frage nach dem Verlauf der Besiedlung ebenso zu klären, wie den Einfluß des Populationswachstums auf die genetische Populationsstruktur.

6. Literatur

ADAMCZWESKA-ANDRZEJEWESKA, K. A. & NABAGLO, L. (1977): Demographic parameters and variations in numbers of the common vole. – Acta Theriologica **22**: 431–457

BÄUMLER, W. (1979): Die Sommerkrise der Erdmaus (*Microtus agrestis*), Teil I: Die Entwicklung einer freilebenden Population. – Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzen- und Umweltschutz **52**: 65–70

BETHGE, E. (1982): Zyklische Bestandswechsel (Gradationen) bei der Feldmaus (*Microtus arvalis*), festgestellt durch Analyse von Eulengewöllen. – Zeitschrift für Säugetierkunde **47**: 215–219

BLUMENBERG, D. (1986): Telemetrische und endoskopische Untersuchungen zur Soziologie, zur Aktivität und zum Massenwechsel der Feldmaus, *Microtus arvalis*. – Zeitschrift für angewandte Zoologie **73**: 301–344

BOYCE, C. C. K. & BOYCE, J. L. (1988 a): Population biology of *Microtus arvalis*. I. Lifetime reproductive success of solitary and grouped breeding females. – Journal of Animal Ecology **57**: 711–722

BOYCE, C. C. K. & BOYCE, J. L. (1988 b): Population biology of *Microtus arvalis*. III. Regulation of numbers and breeding dispersion of females. – Journal of Animal Ecology **57**: 737–754

CHELKOWSKA, H. (1977): Variations in numbers and social factors in a population of field voles. – Acta Theriologica **23**: 213–238

CHITTY, D. (1967): The natural selection of self-regulatory behavior in animal populations. – Proceedings of the Ecological Society of Australia **2**: 51–78

DE JONGE, G. (1983): Aggression and group formation in the voles *Microtus agrestis*, *M. arvalis* and *Clethrionomys glareolus* in relation to intra- and interspecific competition. – Behavior **84**: 1–73

FRANK, F. (1954): Beiträge zur Biologie der Feldmaus, *Microtus arvalis* (PALLAS). Teil I. Gehegeversuche. – Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, **83**: 355–403

FRANK, F. (1957): The causality of microtine cycles in germany. – Journal of Wildlife management, **21**: 113–121

GETZ, (1990): Social organization and mating system of the prarie vole, *Microtus ochrogaster*. – In: TAMARIN, R. H., OSTERFELD, S. R., PUGH, S. R. & BUJALSKA, G. (eds): Social systems and population cycles in voles. Advances in Life Science, S. 69–80; Birkhäuser Verlag, Basel

GIBAN, J. (1974): Use of chloramphenicole in the struggle against the common vole (*Microtus arvalis* (Pall.)) and against the muskrat. – Presentation 6th Vertebrate Pest Conference; Anaheim, USA (zitiert in LAUENSTEIN, 1979)

HALLE, S. (1987): Die Kleinnager in Rekultivierungsgebieten des rheinischen Braunkohlenreviers: Wiederbesiedlung und Einfluß auf die forstliche Rekultivierung. – Angewandte Zoologie, **4**: 299–319

HAMER, M., TUTA, A., PETRESCU, A. & BABES, L. (1977): Usefulness of stress indicators in forecasting population trends in *Microtus arvalis* (PALLAS). – EPPO Bulletin, **7**: 349–357

HEISE, S., LIPPKE, J. & WIELAND, H. (1982): Beiträge zur Populationsregulation der Feldmaus (*Microtus arvalis*; PALLAS, 1779) I. Reproduktionsintensität. – Zoologische Jahrbücher für Systematik **118**: 257–265

HEISE, S. & STUBBE, M. (1987): Populationsökologische Untersuchungen zum Massenwechsel der Feldmaus, *Microtus arvalis* (PALLAS, 1779). – Säugetierkundliche Informationen **2**: 403–414

HESKE, E. J. (1987): Spatial distribution and dispersal in a high density population of the california vole, *Microtus californicus*. – Holarctic Ecology **10**: 137–148

KREBS, C. J. (1977): Demographic changes in fluctuating populations of *Microtus californicus*. – Ecological Monographs **36**: 239–273

LAUENSTEIN, G. (1979): Zur Problematik der Bekämpfung von Feldmäusen (*Microtus arvalis* (Pall.)) auf Grünland. – Angewandte Zoologie **1**: 35–39

MACKIN-ROGALSKA, R., ADAMCZEWSKA-ANDRZEJEWSKA, K. & NABAGLO, L. (1986): Common vole numbers in relation to the utilization of burrow systems. – Acta

Theriologica **31**: 17–44

MACKIN-ROGALSKA, R. & NABAGLO, L. (1990): Geographical variation in cyclic periodicity and synchrony in the common vole, *Microtus arvalis*. – Oikos **59**: 343–348

MADISON, M. (1990): Social organizational modes in models of microtine cycling. – In: TAMARIN, R. H., OSTERFELD, S. R. & BUJALSKA, G. (eds): Social systems and population cycles in voles. Advances in Life Sciences, S. 25–34; Birkhäuser Verlag, Basel

MIGULA, P., GRODZINSKI, W., JASINSKI, A. & MUSIALEK, B. (1970): Vole and mouse plagues in south-eastern Poland in the years 1945–1967. – Acta Theriologica **15**: 233–252

MORAVEC, J. (1985): Age structures in a wild population of *Microtus arvalis* during its population cycle (Mammalia: Rodentia). – Vestnik ceskoscorenske spolecnosti zoologiche **49**: 123–131

NABAGLO, L. (1981): Demographic process in a confined population of the common vole. – Acta Theriologica **9**: 163–183

PELIKAN, J. (1959): Zur Dynamik des Geschlechtsverhältnisses bei *Microtus arvalis* Pallas. – XVth International Congress Zoological Section X, Paper 23 (zitiert in REICHSTEIN, 1960)

RASSMANN (1992): Genetische Verwandtschaftsanalyse bei Alpenmurmeltieren *(Marmota marmota marmota)* mittels DNA-Fingerprinting. – Diplomarbeit an der Universität München

REICHSTEIN, H. (1956): Zur Dynamik der Sexualproportion bei der Feldmaus, *Microtus arvalis* (Pallas). – Zeitschrift für Säugetierkunde **21**: 184–191

REICHSTEIN, H. (1960): Untersuchungen zum Aktionsraum und zum Revierverhalten der Feldmaus, *Microtus arvalis* (Pall.). Markierungsversuche. – Zeitschrift für Säugetierkunde **25**: 150–169

REICHSTEIN, H. (1964): Untersuchungen zum Körperwachstum und zum Reproduktionspotential der Feldmaus, *Microtus arvalis* (Pallas, 1779). – Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie **170**: 112–215

SCHÖN, I. (1995): Populationsökologische und molekulargenetische Untersuchungen zur Besiedlung eines neu entstandenen Lebensraumes durch *Microtus arvalis*. – Dissertation am Fachbereich Biologie, Philipps-Universität Marburg

SAMBROOK, J., FRITSCH, E. F. & MANIATIS, T. (1990): Molecular cloning: a laboratory manual. Second edition. – Cold Spring Harbor Laboratory; Cold Spring, New York

SPITZ, F. (1967): The causes and dynamics of population explosions of *M. arvalis*: A survey of current french research. – EPPO-Publications, Series A **41**: 97–105

STEIN, G. W. H. (1952): Über Massenvermehrung und Massenzusammenbruch bei der Feldmaus. Populationsanalytische Untersuchungen an kleinen Säugetieren. III. *Microtus arvalis*. – Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik **81**: 1–26

STEIN, G. W. H. (1958): Die Feldmaus (*Microtus arvalis* Pallas). – Neue Brehm Bücherei, Kosmos-Verlag, Stuttgart

STEIN, G. W. H. (1957): Materialien zur Kenntnis der Feldmaus, *Microtus arvalis* Pallas. – Zeitschrift für Säugetierkunde **22**: 117–135

VIITALA, J. & PUSENIUS, J. (1990): A comparative study of phenotypic changes in *Microtus* social organization. – In: TAMARIN, R. H., OSTERFELD, S. R. & BUJALSKA, G. (eds): Social systems and population cycles in voles. Advances in Life Sciences, S. 131–142; Birkhäuser Verlag, Basel

WENDLAND, V. (1981): Cyclic population changes in three mouse species in the same woodland. – Oecologia **48**: 7–12

Manuskript bei der Schriftleitung eingegangen am 10. März 1995

Anschrift des Verfassers
Isabelle Schön
Philipps-Universität Marburg
FB Biologie
Postfach 1929
35032 Marburg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Philippia. Abhandlungen und Berichte aus dem Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel

Jahr/Year: 1994-1996

Band/Volume: 7

Autor(en)/Author(s): Schön Isabelle

Artikel/Article: Die Besiedlung der Marburger Lahnberge durch Microtus arvalis (Feldmaus) 109-127