

# **DECHENIANA**

---

**Beihefte**

**21.**

**ROLF BROCKSIEPER**

**Der Einfluß des Mikroklimas auf die Verbreitung der  
Laubheuschrecken, Grillen und Feldheuschrecken  
im Siebengebirge und auf dem Rodderberg bei Bonn  
(Orthoptera: Saltatoria)**

Mit 47 Abbildungen und 12 Tabellen  
im Text und in einem Anhang

**Im Selbstverlag des Naturhistorischen Vereins  
Bonn**

Herausgeber: Naturhistorischer Verein der Rheinlande und Westfalens  
Adenauerallee 162, D-5300 Bonn

Schriftleitung im Auftrage des Vorstandes:  
Prof. Dr. Hartmut BICK, Institut für Landwirtschaftliche Zoologie  
und Bienenkunde der Universität, Melbweg 42, D-5300 Bonn - 1  
(unter Mitarbeit von Dr. habil. Käthe KÜMMEL, Schwabenstr. 10,  
D-7129 Brackenheim)

Für die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Arbeiten  
sind deren Verfasser allein verantwortlich

BIO II 90.051/21

OÖ. Landesmuseum  
Biologiezentrum

Inw. 1997/1993

## Inhaltsübersicht

|   | Seite |
|---|-------|
| Kurzfassung - Abstract  | 3     |
| Vorwort   | 4     |
| 1. Einleitung   | 5     |
| 2. Untersuchungsgebiet  | 7     |
| 3. Methoden   | 9     |
| 3.1. Erfassung der Saltatorienfauna   | 9     |
| 3.2. Mikroklimatologische Tagesgangmessungen -<br>Geräte und Durchführung   | 11    |
| 3.3. Bestimmung der Faktorenintensitäten  | 14    |
| 3.3.1. Allgemeines  | 14    |
| 3.3.2. Sonnenstrahlung  | 16    |
| 3.3.3. Pflanzendeckung  | 25    |
| 3.3.4. Bodenfeuchte   | 25    |
| 3.3.5. Steingehalt  | 25    |
| 3.3.6. Windoffenheit  | 25    |
| 3.3.7. Nächtliche Abkühlung   | 26    |
| 3.3.8. pH-Wert  | 27    |
| 3.3.9. Höhenlage in Meter über Normalnull   | 27    |
| 3.4. Interspezifische Ähnlichkeitskoeffizienten   | 28    |
| 3.5. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen<br>der Arten  | 29    |
| 3.6. Cluster Analyse der Areale   | 30    |
| 3.7. Terminologie und Nomenklatur   | 30    |
| 3.8. Größen- und Gewichtsbestimmungen, kalori-<br>sche Untersuchungen   | 31    |
| 4. Ergebnisse mikroklimatologischer Tagesgang-<br>messungen in ausgewählten Biotopen  | 33    |
| 5. Populationsdynamische Aspekte  | 41    |
| 6. Ermittlung von Artengruppen ähnlicher öko-<br>logischer Ansprüche auf der Grundlage in-<br>terspezifischer Ähnlichkeitskoeffizienten | 47    |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.   | Die Bedeutung einzelner Umweltfaktoren für die Verteilung der Arten   | 51  |
| 7.1. | Die Intensität der Faktoren, ihre Zusammensetzung und ihre Beziehungen zueinander in den 172 untersuchten Arealen   | 51  |
| 7.2. | Sonnenstrahlung   | 56  |
| 7.3. | Pflanzendeckung   | 61  |
| 7.4. | Bodenfeuchte  | 64  |
| 7.5. | Steingehalt an der Bodenoberfläche  | 68  |
| 7.6. | Windoffenheit   | 71  |
| 7.7. | Nächtliche Abkühlung  | 74  |
| 7.8. | Wasserstoffionenkonzentration, pH-(KCl)-Wert  | 77  |
| 7.9. | Höhenlage in Meter über Normalnull  | 80  |
| 8.   | Die Bedeutung unterschiedlicher Faktorkombinationen für die Verteilung der Arten  | 83  |
| 8.1. | Cluster Analyse der Areale  | 83  |
| 8.2. | Arealgruppen mit ähnlichen Faktorkombinationen, ihr Mikroklima und ihre Saltatorienfauna  | 87  |
| 8.3. | Artengruppen mit ähnlicher ökologischer Potenz  | 93  |
| 8.4. | Vielfaktoren-Ökodiagramme, eine spezielle Methode zur Darstellung der ökologischen Potenzen einzelner Arten   | 96  |
| 9.   | Diskussion  | 101 |
| 10.  | Zusammenfassung   | 108 |
| 11.  | Literaturverzeichnis  | 110 |
| 12.  | Anhang: Artenliste, Korrekturfaktoren für den Faktor Sonnenstrahlung, Ähnlichkeitskoeffizienten der Arten, Körpermaße, Brennwerte, Einzeldarstellungen der ökologischen Potenzen der Arten. | 117 |

## Kurzfassung

Die Verteilung von zwanzig Saltatorienarten in Abhängigkeit von acht Umweltfaktoren wird in den Naturschutzgebieten Siebengebirge und Rodderberg bei Bonn untersucht. Es werden interspezifische Ähnlichkeitskoeffizienten berechnet sowie der Einfluß bestimmter Faktoren und verschiedener Faktorenkombinationen auf die Biotopwahl geprüft. Ökologisch verwandte Arten werden zu Gruppen zusammengefaßt und gegeneinander abgegrenzt. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung mikroklimatologischer und populationsdynamischer Aspekte betrachtet. Die vorgestellte Untersuchungsmethode bietet die Möglichkeit, ökologische Rassen zu ermitteln und ihre charakteristischen Eigenschaften quantitativ zu beschreiben.

## Abstract

The distribution of twenty species belonging to the order of Saltatoria is studied in this paper in relationship to eight environmental factors in the nature reserves Siebengebirge and Rodderberg near Bonn, Federal Republic of Germany. Interspecific association coefficients are calculated and the influence of specific factors and various combinations of factors on distribution is investigated. Species which are related in their ecological requirements are grouped and defined against one another. The results are considered with regard to microclimatological and population dynamic aspects. The presented method offers the chance to identify ecological races and to give a quantitative description of their properties.

## Vorwort

Die Untersuchungen zu der vorliegenden Arbeit wurden in den Jahren 1973 bis 1976 durchgeführt. Ergebnisse von Voruntersuchungen sind an anderer Stelle (BROCKSIEPER 1972, 1976, 1977) zusammengefaßt.

Herrn Prof. Dr. H. Bick möchte ich für die Überlassung des Themas und die Betreuung bei der Anfertigung der Arbeit herzlich danken. Besonders danke ich auch Herrn Prof. Dr. H. Fischer für wertvolle Anregungen und die Leihgabe mikro-meteorologischer Meßgeräte sowie Herrn Prof. Dr. W. Koßwig für die hilfreiche Beratung bei statistischen Fragen und bei der Auswertung der Daten im Rechenzentrum der Universität Bonn. Herrn Dr. F. Dahmen danke ich für die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung der Vielfaktorendiagramme, Herrn Dr. Lorenz, Agrarmeteorologische Forschungsanstalt Bonn - Friesdorf für die Überlassung von Klimadaten.

Außerdem gilt mein Dank dem Landschaftsverband Rheinland für die finanzielle Unterstützung der Arbeit sowie dem Verschönerungsverein für das Siebengebirge für die Fahrerlaubnis im Untersuchungsgebiet.

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit stellt auf der Grundlage einer standardisierten Arealerfassung eine Untersuchungsmethode zur quantitativen Beschreibung der Beziehungen zwischen dem Mikroklima und der Verbreitung einer Insektengruppe vor. Ziel der Arbeit war die Gewinnung objektiv vergleichbarer Daten, die es erlauben, die Ansprüche der einzelnen Arten gegeneinander abzugrenzen, ihre ökologischen Vorzugsbereiche sowie die Valenzen ihrer Lebensräume exakt zu beschreiben und typische Artengemeinschaften zu charakterisieren. Mit den Saltatorien wurde eine Tiergruppe ausgewählt, die aus drei Gründen besonders geeignet für die Untersuchungen ist:

- 1) Mit 24 Arten (je 12 Ensiferen und Caeliferen) im Untersuchungsgebiet (BROCKSIEPER 1976, 1977) ist die Gruppe gut überschaubar.

- 2) Untersuchungen von KAUFMANN (1965) an bayerischen Acridoiden und von GANGWERE (1961) an amerikanischen Orthopteren erlauben den Schluß, daß die Nahrung bei diesen Arten für eine Biotopbindung nur eine untergeordnete Rolle spielt. In einigen Fällen konnten zwar Präferenzen, aber keine festen Abhängigkeiten nachgewiesen werden.

- 3) Die Saltatorien zeigen eine auffällige Bindung an bestimmte Lebensräume, die offenbar im wesentlichen auf das Mikroklima der Areale zurückgeführt werden kann.

Den Saltatorien wird daher von zahlreichen Autoren eine Indikatoreigenschaft für das Mikroklima ihrer Lebensräume zugeschrieben; alphabetisch geordnet sind hier beispielhaft zu nennen: FRANZ (1931, 1933), JAKOVLEV (1956, 1959, 1961), KALTENBACH (1963), KÜHNELT (1933), NAGY (1944), RÖBER (1949, 1951, 1970), SCHMIDT (1970), SCHMIDT & BÜHL (1970), SCHMIDT & SCHLAGBAUER (1965), SCHMIDT & SCHULZE (1961), TEICHMANN (1958). Die Ergebnisse dieser Arbeiten aus verschiedenen Regionen Mitteleuropas sind jedoch nur bedingt miteinander zu vergleichen. Neben unterschiedlicher ökologischer Terminologie fehlen besonders übertragbare Bezugsgrößen, die objektiv beurteilt werden könnten

und anhand derer feststellbar wäre, ob sich die ökologischen Ansprüche einer Art in Österreich zum Beispiel von denen der gleichen Art in Norddeutschland unterscheiden oder nicht. Daneben lassen sich bei vorhandenen Unterschieden Art und Größe derselben nicht exakt definieren. Solange diese Vergleichbarkeit nicht gegeben ist, können die Saltatorien nur schwer als brauchbare Mikroklima-Indikatoren zur Biotopbeurteilung herangezogen werden.

Laborversuche verschiedener Autoren (CHAPMAN 1965, GÄRDEFORS 1966, HERTER 1953, JAKOVLEV 1956, 1961, JAKOVLEV & KRÜGER 1953, 1954, REMMERT 1960 u.a.) lassen vermuten, daß für die Biotopwahl der Saltatorien in erster Linie die Milieufeuchte der Areale von Bedeutung ist, wobei den Temperaturansprüchen eine unterschiedliche Rolle zukommt. Es wurden Vorzugsbereiche der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur ermittelt, innerhalb derer die Transpiration aktiv eingeschränkt werden kann. Unter Freilandbedingungen muß davon ausgegangen werden, daß die Vorzugsbereiche, insbesondere der relativen Luftfeuchte, nur sehr selten vorherrschen. In Abhängigkeit vom Großklima werden sie in der Regel unter- beziehungsweise überschritten. Die in Laborversuchen ermittelten Vorzugsbereiche sollten daher kritisch betrachtet werden, da eine Übertragung auf Freilandverhältnisse nur schwer möglich ist und die lokale Verteilung der Arten nur unzureichend interpretiert werden kann.

Aufschlüsse über ökologische Potenzen und Vorzugsbereiche können nur intensive Freilanduntersuchungen liefern, die das Spektrum der besiedelten Biotope erfassen. Als Kriterien fallen Luftfeuchte und Lufttemperatur aus, da sie starken, nicht kalkulierbaren Schwankungen unterliegen und nur registrierende Langzeitmessungen, die jedoch in der Regel aus technischen wie finanziellen Gründen nicht im notwendig großen Umfange durchgeführt werden können, gesicherte Ergebnisse liefern. Außerdem wäre eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Untersuchungen in anderen Regionen nur bei gleichzeitiger Durchführung der Messungen gegeben. Geeignet sind dagegen die in der vorliegenden Ar-

beit erfaßten und im Kapitel 3.3. vorgestellten Umweltfaktoren, die in ihrer Gesamtheit das Mikroklima ausbilden. Sie weisen in einem gegebenen Untersuchungszeitraum eine genügend große Konstanz auf, und ihre durchschnittlichen Größen sind objektiv abschätzbar oder können berechnet werden. Bei der Analyse des bei den Geländearbeiten zusammengetragenen Datenmaterials wird nach den von den einzelnen Saltatorienarten bevorzugten Faktorenkombinationen und nach Grenzwerten einzelner Faktoren gefragt. Ökologisch verwandte Gruppen können dann zusammengefaßt und gegeneinander abgegrenzt werden. Weitere wichtige Aufschlüsse über die unterschiedlichen Biotopansprüche geben interspezifische Ähnlichkeitskoeffizienten, die es erlauben, den Grad der ökologischen Verwandtschaft zwischen den Arten zu berechnen; damit ist eine Kontrolle darüber gegeben, inwieweit die Verteilung der Arten im Gelände ausreichend durch die berücksichtigten Umweltfaktoren beschrieben wird. Bei übereinstimmenden Resultaten kann davon ausgegangen werden, daß die zur Analyse herangezogenen Umweltfaktoren zur Bestimmung der mikroklimatischen Vorzugsbereiche und ökologischen Potenzen der untersuchten Saltatorien ausreichen.

## 2. Untersuchungsgebiet

Das bearbeitete Gebiet besteht aus dem Naturpark Siebengebirge und dem Naturschutzgebiet Rodderberg und liegt am nördlichen Ende des warmen Mittelrheintales.

Das Siebengebirge ist ein Areal von etwa 15 km Länge und maximal 6 km Breite, das sich nach Nordwesten stark verschmälert. Es schließt sich östlich von Bad Honnef a. Rh. an den Westerwald an und läuft relativ flach bei Bonn - Beuel aus. Der geologisch vielschichtige Aufbau des Gebietes führte im Laufe der Erdgeschichte durch den verschiedenen starken Abtrag der Gesteine zur Ausprägung enger Täler und steiler Bergkuppen, wobei sich Basaltkegel deutlich

von abgeflachten Kuppen aus Andesit und Trachyt abheben. Zur Geologie siehe LASPEYRES (1900), zur Pflanzensoziologie KÜMMEL & HAHNE (1953, 1954). Die maximale Höhendifferenz zwischen dem Rheintal - etwa 50 m - und dem Ölberg - 459 m über NN - beträgt rund 410 m. Das gesamte Gebiet ist stark vom Menschen geprägt und verändert. Auffälligste Merkmale sind die zahlreichen ehemaligen Steinbrüche an fast allen Bergen und die vielen, seit einigen Jahren brachliegenden Weinberge am Süd-West-Abfall zum Rheintal. Gerade diese Biotope bieten einer Reihe xero-thermophiler Saltatorienarten, denen über ähnliche Areale im Verlauf des Mittelrheintales eine Besiedlung des Untersuchungsraumes möglich war, günstige Lebensbedingungen. Diese Arten erreichen hier ihre nordwestliche Verbreitungsgrenze. Daneben finden sich häufig Kahlschläge und Schonungen aller Altersstufen, die auf Grund der forstwirtschaftlichen Nutzung des bewaldeten Gebietes entstehen. Seltener sind in weiten Bereichen nicht bewaldete Feucht-Areale, die sich im wesentlichen auf den südlichen Teil des Siebengebirges mit feuchten Waldwiesen im Mucher Wiesental und Schmelztal und den staunassen Wiesen im Umkreis des Broderkonsberges konzentrieren.

Der Rodderberg ist ein flacher, mit Löß gefüllter vulkanischer Krater südlich von Bonn - Mehlem, dessen Rand von kalkreichen Schlacken gebildet wird. Die windoffene, nahezu baumfreie Kuppe wird auf den nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen von Trockenrasen und trockenen Arrhenatherum-Wiesen bewachsen. Zur Geologie siehe RICHTER (1942), zur Pflanzensoziologie KÜMMEL (1938).

Siebengebirge und Rodderberg erweisen sich für die angestrebten Untersuchungen als besonders geeignet. Einerseits sind die großklimatischen Voraussetzungen für alle Bereiche gleich, andererseits bedingt die geologische Form des Geländes die Ausbildung starker mikroklimatischer Unterschiede auf engem Raum in Arealen unterschiedlichster Struktur. Von Vorteil ist auch die flächenmäßig geringe Ausdehnung der Untersuchungsgebiete. Auswertungsprobleme

die sich aus zu großen, für die untersuchten Arten nicht überbrückbaren Entfernungen der Areale untereinander ergeben können, bleiben damit relativ klein und überschaubar.

### 3. Methoden

#### 3.1. Erfassung der Saltatorienfauna

Zur Beurteilung der Verteilung im Gelände und zum Vergleich der ökologischen Potenzen der Arten wurde eine qualitative Bestandsaufnahme der Fauna in den Untersuchungsarealen vorgenommen. Als Indiz für die Besiedlung eines Areals durch eine bestimmte Art wurde in der Regel der Nachweis von Larven sowie mehrerer männlicher und weiblicher Imagines gewertet. Bei einigen Chorthippus-Arten, deren Larven nicht eindeutig zu bestimmen sind, wurde der Nachweis in zwei aufeinander folgenden Jahren als positive Besiedlung angesehen; das gleiche gilt für die meist nur in geringer Populationsdichte vertretenen Ensiferen-Arten.

Vier im Untersuchungsraum lebende Arten wurden bei der Auswertung des Materials nicht herangezogen, da Aussagen zu ihren ökologischen Ansprüchen zu unsicher sind. Es handelt sich um *Barbitistes serricauda* (F.), deren Nachweis erst 1976 gelang, *Conocephalus discolor* THUNBG. und *Tetrix subulata* (L.), von denen jeweils nur ein Tier gefangen wurde, und um *Meconema thalassinum* (DEG.). Letztere ist zwar weit verbreitet, doch muß angenommen werden, daß die Fänge zufällig waren und nicht repräsentativ sind für den Lebensraum der baumbewohnenden Art. Tabelle I im Anhang faßt die Saltatorienarten des Untersuchungsgebietes zusammen.

Populationsdichten wurden bei der Auswertung des Datenmaterials aus mehreren Gründen nur in Einzelfällen berücksichtigt. So lassen sich die Bestandsdichten der Caeliferen in übersichtlichem Gelände noch leicht und relativ ge-

nau über die Zahl der stridulierenden Männchen ermitteln (JAKOVLEV 1959). SMALLEY (1960) und GYLLENBERG (1969) benutzten in Grasbeständen Fangkäfige (Fangfläche  $1 \times 1 \text{ m}^2$ ), WIEGERT (1965) verwendete einen zylindrischen Fangkäfig mit  $0,2 \text{ m}^2$  Grundfläche. Der Einsatz dieser oder ähnlicher Geräte ist aber nur in bestimmten Biotopen möglich. Viele Areale können nicht quantitativ erfaßt werden, wie die ehemaligen Weinberge, auf Grund des dichten Bewuchses mit *Rubus fruticosus* und mittelhoher Strauchschicht, oder die Steinbrüche, wegen der Unebenheit ihrer steinigen Trockenhänge. Wesentlich schwieriger noch ist die Erfassung der Ensiferenfauna, da die Tiere nur selten in hoher Dichte auftreten und die meisten Arten ein ausgeprägtes und sehr unterschiedliches Fluchtverhalten haben. Hinzu kommt, daß die Dichtebestimmung in allen 172 Arealen in einem sehr kurzen Zeitraum hätte durchgeführt werden müssen, was technisch nicht möglich war. Abbildung 1 zeigt die von der Jahreszeit abhängige Dichte von *Chorthippus parallelus* nach Untersuchungen von GYLLENBERG (1969) in Finnland.

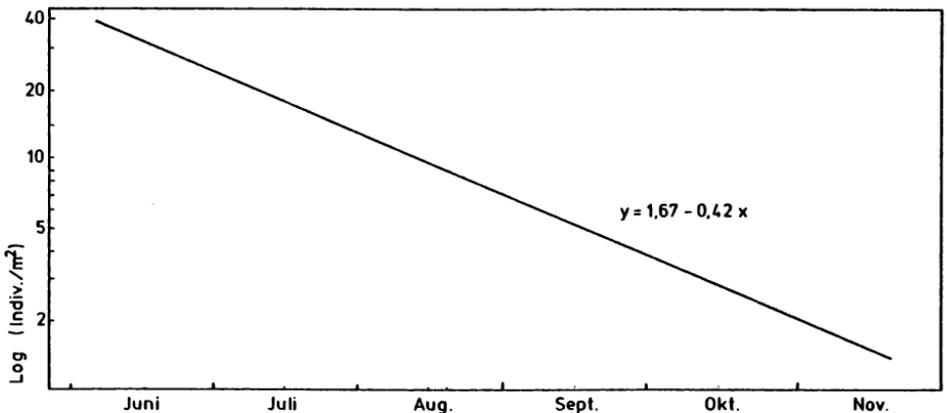


Abbildung 1: Abnahme der Populationsdichten von *Chorthippus parallelus* in den Jahren 1966 und 1967. Nach GYLLENBERG (1969).

Die Untersuchungen von SMALLEY (1960) und WIEGERT (1965) an amerikanischen Orthopteren ergaben etwa gleiche Mortalitätsraten.

Aus diesen Gründen wurden nur in wenigen ausgewählten Arealen quantitative Dichtebestimmungen vorgenommen. Ergebnisse sind in den Abschnitten 5. und 7.2. dargestellt. Für die Fänge wurde eine "Falle" von  $1 \times 1 \text{ m}^2$  Grundfläche benutzt, ähnlich den von SMALLEY (1960) und GYLLENBERG (1969) verwendeten Fangkästen. Das Gerät ist am besten als oben und unten offene Kastenfalle zu bezeichnen; die Seitenwände sind mit Nylongaze bespannt, sie sind an drei Seiten 100 cm, an der vierten 50 cm hoch. Die "Falle" kann von einem Untersucher allein im Gelände getragen und schnell ausgesetzt werden; durchschnittlich wurde etwa alle 5 m eine Probe genommen. Von der niedrigen Seite aus können die Heuschrecken mit einem Stock aufgetrieben und relativ leicht von den Seitenwänden abgesammelt werden. Bei nicht zu heißem Wetter entweichen nur vereinzelt Tiere. Besonders in niedrig bewachsenen Arealen und in Grasbeständen können gute Ergebnisse erzielt werden, unter anderen Bedingungen ist jedoch eine Kontrolle durch gründliches Keschern erforderlich und nur eine qualitative Aussage möglich.

### 3.2. Mikroklimatologische Tagesgangmessungen - Geräte und Durchführung

Die Messungen wurden im Jahr 1973 zwischen Mai und August an klaren Strahlungstagen in ausgewählten, in sich einheitlichen Arealen durchgeführt. Der Beginn der Messungen lag in der bürgerlichen Dämmerung vor Sonnenaufgang, Abschluß war nach Sonnenuntergang. Die charakteristischen Eigenschaften der Areale spiegeln sich in den Ergebnissen wider. Die erfaßten mikroklimatologischen Größen, Einheiten, Meßpunkte und -geräte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Das Strahlungsmeßgerät nach ROBITZSCH-FUESS registriert Globalstrahlung; das ist die kurzweilige Einstrahlungs-

| Meßgröße                                | Einheit                             | Meßpunkt,<br>Höhe und Lage                     | Meßgerät   |
|---|-------------------------------------|--|--|
| Globalstrahlung                         | $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ | ca. 20 cm über Grund,<br>Meßflächen horizontal | Bimetall-Aktinograph nach<br>ROBITZSCH-FUESS, Meßbereich<br>0 bis $2 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$   |
| relative Luftfeuchte                    | %                                   | } 4, 20, 40 und 100 cm<br>über Grund           | Aspirations-Psychrometer<br>nach ASSMANN, 1/5 Grad-<br>Teilung   |
| Lufttemperatur                          | $^{\circ}\text{C}$                  |  |  |
| Bodentemperatur                         | $^{\circ}\text{C}$                  | in 10 cm Bodentiefe                            | Laborthermometer, Ables-<br>genauigkeit 1/2 Grad   |
| Windgeschwindigkeit                     | m/s                                 | 4, 20, 40 und 100 cm<br>über Grund             | Kata-Thermometer für die<br>Höhen 4, 20, 40 cm; Scha-<br>lenanemometer für Höhe<br>100 cm  |
| Sonnengang,<br>Azimut und Höhe          | Altgrad                             | ca. 150 cm über Grund                          | } flüssigkeitsgedämpfter Ge-<br>fällemesser, Meßbereich $-90^{\circ}$<br>bis $+90^{\circ}$ , horizontal dreh-<br>bar auf einer $360^{\circ}$ -geteilten<br>Scheibe |
| Horizonteinengungen,<br>Azimut und Höhe | Altgrad                             | ca. 50 cm über Grund                           |  |

121

Tabelle 1: Erfasste mikroklimatologische Größen, Einheiten, Meßpunkte und Meßgeräte.

energie für eine horizontale Fläche, Wellenlänge etwa 0,3 bis 4  $\mu\text{m}$ , mit Maximum bei 0,5  $\mu\text{m}$  im sichtbaren Licht, die sich aus Insolation I (direkte Sonnenstrahlung) und diffuser Himmelsstrahlung H zusammensetzt. Insolation und diffuse Himmelsstrahlung prägen in der warmen Jahreszeit das Mikroklima, da sich die langwellige Strahlung der Atmosphäre und die langwellige Ausstrahlung des Bodens in etwa gegenseitig aufheben. Die Meßflächen des Gerätes werden gegen die langwellige Strahlung, Wellenlänge etwa 4 bis 100  $\mu\text{m}$ , mit Maximum bei etwa 10  $\mu\text{m}$ , durch eine halbkugelförmige Glasglocke abgeschirmt. Zu den einzelnen Größen des Wärmehaushaltes siehe GEIGER (1961), Abschnitt I.

Lufttemperatur und Luftfeuchte wurden stündlich mit einem Aspirations-Psychrometer gemessen, indem es in 4 und 20 cm Höhe über Grund in gleichbleibender Höhe bewegt wurde, was verhindert, daß Luft aus anderen Schichten angesaugt wird. In 40 und 100 cm Höhe ist das unnötig, da Temperatur- und Luftschichtungen weniger sprunghaft sind.

Die stündlichen Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe sind mit einem Laborthermometer bestimmt worden. Auf Messungen mit einem großen Bodenthermometer wurde verzichtet, weil die Auslegung im häufig steinig-felsigen Untergrund wegen Bruchgefahr zu riskant war. Es wurde darauf geachtet, daß sich das Thermometer nicht durch direkte Bestrahlung erwärmen konnte.

Von den Windgeschwindigkeiten in 4, 20 und 40 cm Höhe über Grund konnten keine vollständigen Tagesgänge durchgeführt werden, da der Einsatz des Kata-Thermometers nur bis + 30°C Lufttemperatur möglich ist. Aus Meßreihen in den Morgen- und Abendstunden wurden die geländebedingten typischen Windgeschwindigkeitsschichtungen ermittelt. Das verwendete Kata-Thermometer ist ein mit Alkohol gefülltes Flüssigkeitsthermometer, das aus einem zylindrischen Thermometergefäß und einer aufgesetzten Kapillare besteht. Vor Meßbeginn wird es im Wasserbad auf 50 bis 80° erwärmt, dann

in gewünschter Höhe trocken aufgehängt. Mit einer Stoppuhr wird die Sinkdauer zwischen zwei Eichstrichen gemessen. Aus der Sinkdauer, der Lufttemperatur und einer Gerätekonstanten läßt sich die Windgeschwindigkeit berechnen. Das meßempfindliche zylindrische Flüssigkeitsgefäß hat eine Höhe von 4 cm und einen Durchmesser von 2 cm. Daraus ergibt sich, daß die angegebenen Windgeschwindigkeiten für zum Beispiel 4 cm Höhe über Grund gemittelt sind aus Messungen in 2 bis 6 cm Höhe über Grund. Das Thermometer wurde gegen direkte Sonnenbestrahlung geschützt. Die Windgeschwindigkeiten in 100 cm Höhe über Grund sind mit einem Schalenanemometer gemessen worden.

Sonnengang und Horizonteinengungen wurden mit einem flüssigkeitsgedämpften Gefällemesser bestimmt, Ablesegenauigkeit  $0,5^{\circ}$ , der auf einem in der Ebene drehbaren Stativkopf befestigt war, der das gleichzeitige Ablesen der Himmelsrichtung auf einer  $360^{\circ}$ -Skala erlaubte.

### 3.3. Bestimmung der Faktorenintensitäten

#### 3.3.1. Allgemeines

In den Jahren 1973 und 1974 wurden in 172 Arealen die Intensitäten der unten aufgeführten acht Umweltfaktoren bestimmt:

- |                 |   |
|-----------------|---|
| Sonnenstrahlung | - berechneter Näherungswert, der angibt, wieviel Prozent der maximal möglichen Sonnenstrahlungsenergie ein Areal erhält |
| Pflanzendeckung | - geschätzte Durchschnittswerte   |
| Bodenfeuchte    | - geschätzte relative Bodenfeuchte, einer 9-stufigen Skala zugeordnet   |

- Steingehalt - geschätzte Werte, die angeben, wieviel Prozent der Bodenoberfläche von Steinen 2 cm bedeckt werden
- Windoffenheit - geschätzte Werte, die angeben, wie stark das Areal dem Wind ausgesetzt ist
- nächtliche Abkühlung - relative Meßdaten, die die relative Minimum-Nachttemperatur in 1 cm Bodenhöhe angeben; sie sind ein Maß für die unterschiedlich starke Abkühlung während der Nacht in den Untersuchungsarealen
- pH - Meßdaten aus im Labor untersuchten Bodenproben
- m über NN - Höhenlage in m über NN, aus Karten 1 : 5000 und 1 : 25000 ermittelt

Die erfaßten Umweltfaktoren sind im Laufe eines Jahres starken Schwankungen unterworfen. Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, ist es nötig, einen definierten Vergleichszeitraum für die Untersuchungen auszuwählen, in dem die Faktoren eine relative Konstanz aufweisen und der für die Saltatorienverbreitung von Bedeutung ist. Hierfür eignen sich die Monate August, September und Oktober. Diese Zeitspanne entspricht in etwa der Imaginalzeit der Arten, in der die Tiere aktiv günstige Areale aufsuchen und durch die Eiablage auch den Lebensraum der Larven bestimmen. Außerdem sind mikroklimatische Unterschiede zwischen den Arealen wesentlich stärker ausgeprägt als in der Larvalzeit bei hohem Sonnenstand (vergleiche dazu Abschnitt 4.). Der Bedeutung der Larvalzeit für die Verbreitung der Arten wurde bei der Erfassung der Saltatorienfauna Rechnung getragen (siehe Abschnitt 3.1.). Durch sinkende Nachttemperaturen wird die Lebensfähigkeit von empfindlichen Arten in nachtfrostgefährdeten Arealen

schon ab Anfang September erheblich beeinträchtigt, was sich auf den Weiterbestand der Population negativ auswirkt.

Die Mindestgröße der Areale liegt bei ca.  $100 \text{ m}^2$ , wobei sich die Einzelflächen in wenigstens einem Faktor von den angrenzenden Arealen wesentlich unterscheiden müssen.

### 3.3.2. Sonnenstrahlung

Die Größe gibt an, wieviel Prozent der angebotenen Sonnenstrahlungsenergie (Insolation + diffuse Himmelsstrahlung) ein Areal aufnimmt. Der Strahlungsgenuß ist, wie in Abschnitt 3.2. bereits ausgeführt, von großer Bedeutung für das Mikroklima. Zur Bestimmung wurde eine Methode entwickelt, die es erlaubt, für beliebige Areale im Raum Bonn das langjährige Mittel an aufgenommener kurzwelliger Sonnenstrahlungsenergie  $W$  im Untersuchungszeitraum August bis Oktober zu berechnen. Die Berechnung erfolgt unter Berücksichtigung von Exposition, Neigung und Horizonteinengungen über die mittlere aufgenommene Globalstrahlungsenergie pro Stunde an Strahlungstagen und an dicht bewölkten Tagen sowie der gemittelten Gesamt-

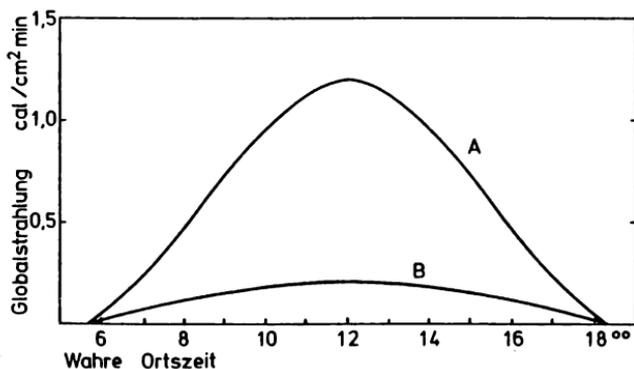


Abbildung 2: Verlauf der mittleren Globalstrahlungskurven an einem reinen Strahlungstag (A) und an einem dicht bewölkten Tag (B) im Untersuchungszeitraum (1.VIII.-31.X.) für Bonn.

summen an Sonnenscheinstunden beziehungsweise an sonnenbewölkten Stunden. Vorausgesetzt wird dabei, daß die Sonnenscheinstunden im Mittel etwa gleich auf die Tagesstunden verteilt sind. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der mittleren Globalstrahlungskurven an einem reinen Strahlungstag und an einem dicht bewölkten Tag, die den Berechnungen zugrunde liegen. Die Kurven wurden nach den im Gelände gemessenen Tagesgängen bestimmt und gelten für ein nicht geneigtes Areal ohne Horizonteinengungen.

Für die Berechnung des jeweiligen Strahlungsgenusses einer Probefläche sind die Kartierung der Horizonteinengungen, die Messung von Exposition und Neigung sowie eine Berechnungsformel, Formel 1, und ein Berechnungsdiagramm, Abbildung 4, erforderlich.

Formel 1

$$W = Q_1 \frac{464,5}{13,5} f_1 + Q_2 \frac{464,5}{13,5} f_2 f_3 + Q_3 \frac{777,5}{13,5} f_2 f_3$$

$W$  in  $\text{cal cm}^{-2}$  : mittlere Energie, die ein Areal durch kurzwellige Sonneneinstrahlung (Insolation + diffuse Himmelsstrahlung) während des Untersuchungszeitraums (1.VIII.-31.X.) aufnimmt, unter Berücksichtigung einer aus 20 Jahren gemittelten Sonnenscheindauer, sowie von Neigung, Exposition und Horizonteinengungen

$Q_1$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  : mittlere Energie, die ein nicht geneigtes, besonntes Areal durch Insolation und diffuse Himmelsstrahlung je wolkenlosem Strahlungstag im Untersuchungszeitraum aufnimmt

$Q_2$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  : mittlere Energie, die ein nicht geneigtes, nicht besonntes Areal

- ausschließlich durch diffuse Him-  
melsstrahlung je wolkenlosem  
Strahlungstag im Untersuchungs-  
zeitraum aufnimmt, wenn die Son-  
ne durch Horizonteinengungen ab-  
geschirmt wird
- $Q_3$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  : mittlere Energie, die ein nicht  
geneigtes, nicht horizonteingenge-  
tes Areal durch diffuse Him-  
melsstrahlung je dicht bewölktem  
Tag im Untersuchungszeitraum auf-  
nimmt ( $Q_3$  ist im Raum Bonn mit  
 $104,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  konstant)
- $f_1$  : Korrekturfaktor für  $Q_1$ , dessen  
Größe durch die Neigung des Are-  
als und dessen Exposition be-  
stimmt wird
- $f_2$  : Korrekturfaktor für  $Q_2$  und  $Q_3$ ,  
dessen Größe durch die Neigung  
des Areals und dessen Exposition  
bestimmt wird
- $f_3$  : Korrekturfaktor für  $Q_2$  und  $Q_3$ ,  
dessen Größe durch Lage und Um-  
fang der Horizonteinengungen des  
Areals bestimmt wird
- 464,5 h : Sonnenscheindauer im Untersu-  
chungszeitraum in Bonn, gemit-  
telt aus den Daten von 1947 bis  
1966, Standardabweichung des  
arithmetischen Mittels  $s_{\bar{x}} = 16,3 \text{ h}$
- 777,5 h : Differenz, die sich aus der maxi-  
mal möglichen Sonnenscheindauer  
an den 92 Tagen des Untersuchungs-  
zeitraums (mittlere Tageslänge  
13,5 h multipliziert mit 92) und  
der gemittelten tatsächlichen

Sonnenscheindauer ergibt  
 $13,5 \cdot 92 = 464,5 = 777,5$

13,5 h : mittlere Tageslänge für Bonn im  
Untersuchungszeitraum

$Q_1$  und  $Q_2$  werden mit Hilfe des Berechnungsdiagramms  
bestimmt (siehe Beispiel Seite 23).

$Q_3$  ist im Raum Bonn mit  $104,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  konstant.

$f_1$  und  $f_2$  sind den Tabellen II und III im Anhang zu  
entnehmen, Zwischenwerte können interpoliert  
werden. Die Tabellen wurden anhand von Mes-  
sungen berechnet, die auf dem Rodderberg  
(Horizonteinengung Null) an reinen Strahlungs-  
tagen ( $f_1$ ) und an dicht bewölkten Tagen ( $f_2$ )  
mit einem kosinuskorrigierten Luxmeter durch-  
geführt wurden. Die Hauptempfindlichkeit des  
Gerätes liegt im Maximum der kurzwelligen  
Strahlung bei ca.  $0,55 \mu\text{m}$  Wellenlänge.

Die hohe Korrelation zwischen den Meßergebnis-  
sen des Bimetall-Aktinographen in  $\text{cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}$   
und des Luxmeters in klx (Abbildung 3) er-  
laubt eine Anwendung der Korrekturfaktoren  $f_1$ ,  
 $f_2$  und  $f_3$  auf die Strahlungsenergien  $Q_1$ ,  $Q_2$   
und  $Q_3$ .

Während der Tagesgänge wurde stündlich in den  
Himmelsrichtungen (N, NE, ... W, NW) mit den  
Neigungen ( $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , ...  $85^\circ$ ,  $90^\circ$ ) gemessen und  
die mittleren Beleuchtungsstärken  $E_{(\alpha/\beta)}$  be-  
rechnet und in Bezug gesetzt zur mittleren Be-  
leuchtungsstärke der nicht geneigten Fläche  
 $E_{(\beta=0^\circ)}$ .

Formel 2 
$$f_1 = \frac{E_{\alpha,\beta}}{E_{\beta=0^\circ}}$$

Die Berechnung von  $f_2$  erfolgt analog.

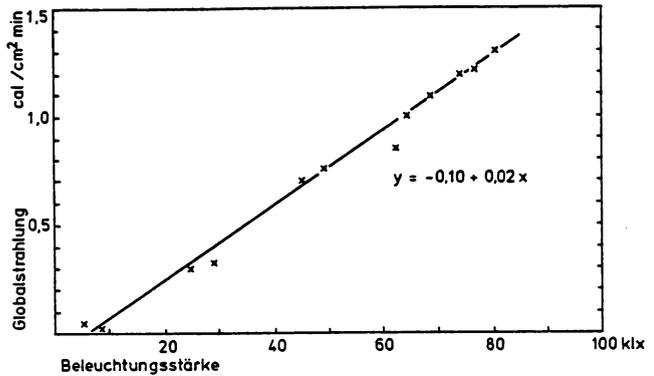


Abbildung 3: Beziehung zwischen den Meßergebnissen des Bimetall-Aktinographen und des Luxmeters bei horizontal exponierten Meßflächen.

$f_3$  ist ein Korrekturfaktor, der sich aus Tabelle III im Anhang und Formel 3 errechnet. Aus Tabelle III ist zu ersehen, daß der Zenitbereich, mit leichter Verschiebung zum Südhorizont, den größten Anteil an der Einstrahlung diffuser Himmelsstrahlung bei dichter Bewölkung hat. Die horizontnahen Bereiche strahlen ungleich weniger. Das bedeutet, daß eine Horizonteinengung im Zenitbereich einen wesentlich höheren Strahlungsverlust bewirkt, als eine gleichgroße Einengung im horizontnahen Bereich. Den für die diffuse Einstrahlung verschiedenen wirksamen Himmelsbereichen wurden die Korrekturfaktoren  $f_3$ , (1,0; 0,9; 0,8; 0,65 und 0,5) zugeordnet. Die Grenzen der einzelnen Bereiche und die Faktoren sind im Berechnungsdiagramm eingetragen.

Formel 3 
$$f_3 = 1 - \frac{H_{o f_3'}}{H_{o \max}}$$

$H_{o f_3'}$  ist die mit den entsprechenden Faktoren  $f_3$ , multiplizierte gesamte Fläche der Hori-

zonteinengungen,  $H_{o_{max}}$  die maximal mögliche Einengung, die einer völlig abgeschirmten Himmelshalbkugel entspricht.

$f_4$  ist ein Näherungsfaktor, mit dem  $W$  multipliziert wird und der bei Untersuchungen in höheren Gebirgen einzuführen ist. Die Werte für  $f_4$  lassen sich aus den in GEIGER (1961, Seite 464 bis 466, nach SAUBERER) angegebenen Werten errechnen. Der Autor gibt für die Alpen eine Zunahme der zugeführten kurzwelligen Energie von ca. 1% je 100 m Höhenunterschied bei Strahlungswetter an. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde der Einfluß der verschiedenen Höhen über NN nicht berücksichtigt. Die Probeareale im Untersuchungsgebiet weisen vergleichsweise geringe Höhenunterschiede (ca. 85% der untersuchten Areale liegen zwischen 100 und 350 m über NN) auf, ihr Einfluß ist unbedeutend.

Erläuterungen zum Berechnungsdiagramm (Abbildung 4): Die durchschnittliche Sonnenscheindauer und die Berechnungen von  $Q_1$  und  $Q_2$  im Untersuchungszeitraum lassen sich nicht über die mittlere Sonnengangkurve ermitteln, da sie von Lage und Form der Horizont-einengungen abhängig sind. Eine Näherung wird durch die Gestaltung des Berechnungsdiagramms erreicht. Neben den  $f_3$ -Bereichen sind der Gang der Sonne am ersten (1.VIII.) und am letzten (31.X.) Tag des Untersuchungszeitraums sowie die wahren Ortszeiten eingetragen.

Der Bereich zwischen den Sonnenganglinien und jeweils zwei Stundenlinien ist in 12 Unterbereiche geteilt. Jedem Unterbereich entspricht ein Zwölftel der durchschnittlichen stündlichen Energiezufuhr durch Globalstrahlung, die aus Abbildung 2 zu entnehmen ist. Zum Beispiel wird die durchschnittliche stündliche

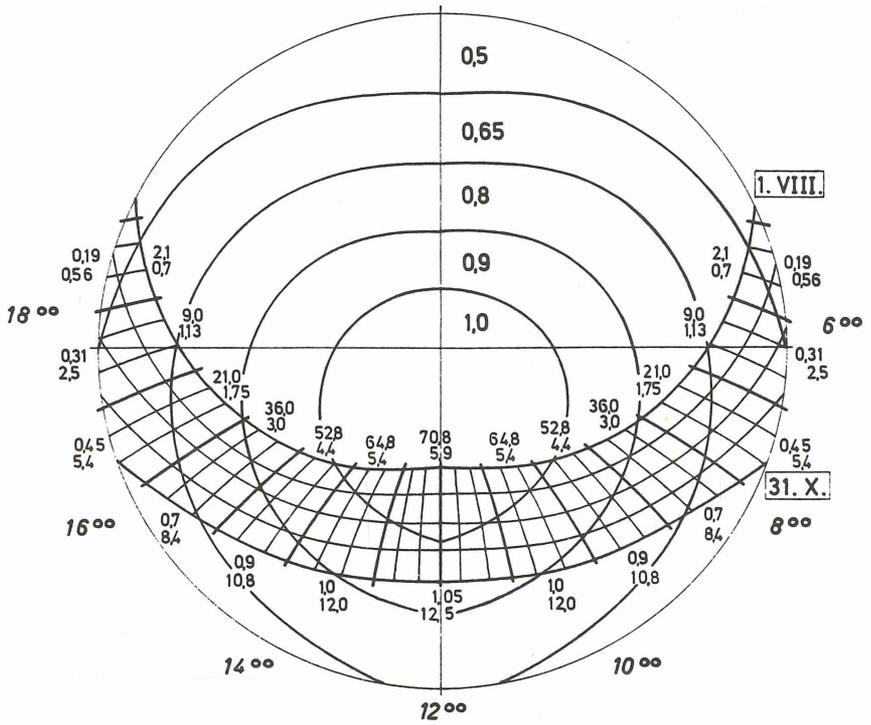


Abbildung 4: Berechnungsdiagramm, Erläuterungen siehe Seite 21.

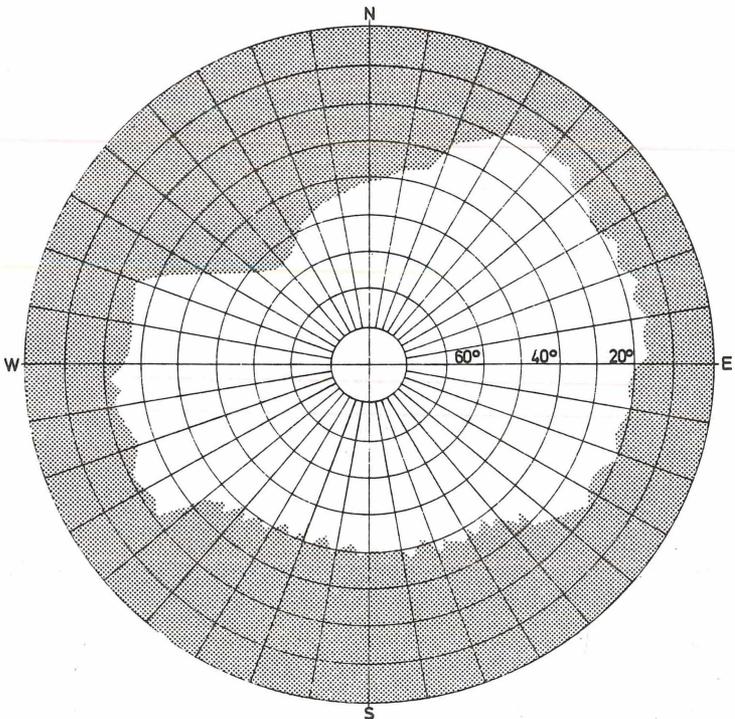


Abbildung 5: Horizonteinengungen zum Arealbeispiel auf Seite 23.

Energiezufuhr bei Insolation zwischen 10<sup>00</sup> und 11<sup>00</sup> von 64,8 cal cm<sup>-2</sup> in 12 Unterbereiche je 5,4 cal cm<sup>-2</sup> aufgeteilt. Die Energiewerte zur Berechnung von Q<sub>1</sub> sind über der Sonnengangkurve vom 1.VIII., die für Q<sub>2</sub> unter der Sonnenganglinie vom 31.X. eingetragen. Werden durch die Horizonteinengungen eines Areal zwischen 10<sup>00</sup> und 11<sup>00</sup> zum Beispiel 7 Unterbereiche nicht abgedeckt, so erhält es in dieser Stunde eine Teilenergie von Q<sub>1</sub>, die sich errechnet aus

$$7 \cdot 5,4 \text{ cal cm}^{-2} = 37,8 \text{ cal cm}^{-2}$$

und eine entsprechende Teilenergie aus Q<sub>2</sub>, also

$$(12 - 7) \cdot 1,0 \text{ cal cm}^{-2} = 5 \text{ cal cm}^{-2}.$$

Entsprechend berechnen sich die Strahlungsmengen für die weiteren Tagesstunden und die Tagessummen.

Eine ca. 30° nach Süden geneigte Fläche ohne Horizonteinengungen erhält im Raum Bonn im gewählten Untersuchungszeitraum die maximal mögliche Einstrahlung an Sonnenenergie W<sub>max</sub>, die sich wie folgt berechnet:

$$Q_1 = 513,0 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}, \quad Q_2 = 0,0 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1},$$

$$Q_3 = 104,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1},$$

$$f_1 = 1,05, \quad f_2 = 1,00, \quad f_3 = 1,00$$

Aus Formel 1 resultiert:

$$\underline{W_{\max} = 24552,0 \text{ cal cm}^{-2}} \quad \text{im Untersuchungs-}$$

zeitraum

$$\underline{W_{\max} = 100\% \text{ der angebotenen Strahlungsmenge}}$$

Für das Beispiel in Abbildung 5 ergeben sich folgende Größen:

$$Q_1 = 266,2 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1}, \quad Q_2 = 56,1 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1},$$

$$Q_3 = 104,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{d}^{-1},$$

$$f_1 = 0,97, \quad f_2 = 0,95, \quad f_3 = 0,59$$

Aus Formel 1 resultiert:

$$W = 13339,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ im Untersuchungszeitraum}$$

$$W = 54,3\% \text{ der angebotenen Strahlungsmenge } W_{\max}$$

Die Genauigkeit der Methode wird aus Tabelle 2 sichtbar. Eingetragen ist die berechnete Menge an zugeführter Globalstrahlung zwischen dem 1.VIII. und dem 31.X.1966 einer nicht geneigten und nicht horizonteingeengten Fläche im Raum Bonn (Sonnenscheindauer: 486,7 Stunden) und die Globalstrahlungsmengen, die von den nächstgelegenen Wetterämtern im gleichen Zeitraum registriert worden sind (DEUTSCHES METEOROLOGISCHES JAHRBUCH 1969).

|              |  |
|--------------|--|
| Bonn         | $W_{1966} = 24\ 341\ \text{cal cm}^{-2}$ |
| Hamburg      | $W_{1966} = 21\ 331\ \text{cal cm}^{-2}$ |
| Braunschweig | $W_{1966} = 21\ 355\ \text{cal cm}^{-2}$ |
| Trier        | $W_{1966} = 26\ 223\ \text{cal cm}^{-2}$ |
| Würzburg     | $W_{1966} = 25\ 265\ \text{cal cm}^{-2}$ |

Tabelle 2: Globalstrahlungsmengen vom 1.VIII. bis 31.X.1966.

Die aus der Literatur bekannten Methoden zur Strahlungsbestimmung (KNOCH 1963) haben zwei wesentliche Mängel: 1. sie erfassen nur die direkte Sonnenstrahlung (Insolation), 2. berücksichtigen sie nicht die regional stark unterschiedliche Sonnenscheindauer. Gerade diese bestimmt aber die wichtigen regionalen Klimaunterschiede, die für biologische Fragen von besonderer Bedeutung sind.

Die vorgestellte Methode, die den wahren mittleren Genuß eines Areals an Sonneneinstrahlung bestimmt, läßt sich dagegen auf andere geographische Regionen, aber auch auf beliebige Jahreszeiten ohne Schwierigkeiten übertragen, da das Netz der Wetterstationen mit Sonnenscheinschreibern dicht ist und die Bestimmung der theoretischen Globalstrahlungskurven (vergleiche Abbildung 2) für jede Jahreszeit aus den Messungen der Wetterämter möglich ist. Damit kann der Klimafaktor Sonnenstrahlung sowohl in lokal als auch überregional vergleichenden ökologischen Untersuchungen quantitativ erfaßt werden.

### 3.3.3. Pflanzendeckung

Der Faktor gibt an, wieviel Prozent der Bodenoberfläche von den oberirdischen Organen der Krautschicht einschließlich der Höheren Moose und der Strauchschicht bedeckt wird, wenn sie darauf projiziert werden. Berücksichtigt wird die Kraut- und Strauchschicht bis ca. 2 m Höhe.

### 3.3.4. Bodenfeuchte

Einer 9-stufigen Skala wurde die relative Bodenfeuchte der einzelnen Areale zugeordnet; 0 - extrem trocken, gilt für manche Bereiche im lockeren Schotterboden der ehemaligen Steinbrüche und Stufe 8 - sehr feucht, kennzeichnet staunasse Böden. Messungen wurden nicht durchgeführt, da der Wassergehalt der Böden in Abhängigkeit von den Niederschlägen auch im Untersuchungszeitraum starken Schwankungen unterliegt und nur häufige Bestimmungen in allen Arealen oder Langzeitmessungen vergleichbare Werte hätten liefern können. Die Abschätzung der relativen Bodenfeuchte ist in der Regel am 4. oder 5. Tag nach einem stärkeren Regenfall vorgenommen worden.

### 3.3.5. Steingehalt

Geschätzt wurde der Flächenanteil der sichtbaren Steine >2 cm Durchmesser an der Bodenoberfläche.

### 3.3.6. Windoffenheit

Der Faktor gibt an, wie stark das Areal dem Wind ausge-

setzt ist. Größtmögliche Windoffenheit entspricht 100%, zum Beispiel eine freie Bergkuppe. Ein völlig vom Wind abgeschirmtes Areal, wie etwa das Innere eines Waldes, hat eine Windoffenheit von 0%. Berücksichtigt wurden bei der Bestimmung die Horizonteinengungen, Kriterien wie offene Hang- beziehungsweise geschützte Tallage oder die besonderen Bedingungen durch fallende Winde vor hohen Steinbruchwänden.

### 3.3.7. Nächtliche Abkühlung

Der Faktor ist ein relatives Maß für die unterschiedlichen nächtlichen Minimum-Temperaturen in den Untersuchungsarealen. Anfang Oktober 1973 wurden in drei aufeinander folgenden, klaren, relativ windarmen Nächten (1./2. - 3./4.X.) in insgesamt 120 ausgewählten Untersuchungsarealen Minimum-Temperaturmessungen durchgeführt, Meßhöhe ca. 1 cm über Grund. In jeder Nacht wurden 40 geeichte handelsübliche Minimum-Thermometer (Ablesegenauigkeit  $0,5^{\circ}\text{C}$ ) ausgelegt. Die Thermometer wurden gegen den Boden mit einer Styroporschicht isoliert. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den drei Nächten zu gewährleisten, wurden zwei  $1/10^{\circ}\text{C}$  Thermometer in allen drei Nächten jeweils in denselben Vergleichsarealen ausgelegt. Die Temperaturunterschiede lagen in diesen Arealen von der ersten auf die dritte Nacht bei  $+ 1,7^{\circ}\text{C}$ ; die Meßdaten aus der zweiten und dritten Nacht wurden durch entsprechende Subtraktion auf das Temperaturniveau der ersten Nacht umgerechnet.

Die Temperatur des wärmsten Areals ( $- 0,5^{\circ}\text{C}$ ) wurde als 0%ige, die des kältesten Areals ( $- 7,7^{\circ}\text{C}$ ) als 100%ige relative nächtliche Abkühlung festgesetzt und die weiteren Meßergebnisse in die Prozentskala umgerechnet. Da aus technischen Gründen nicht für alle Einzelareale die Minimumtemperaturen gemessen werden konnten, mußten fehlende

Daten aus den Temperaturen benachbarter und ähnlicher Areale geschätzt werden, was erfahrungsgemäß bei der Berücksichtigung aller Einflußgrößen wie Windoffenheit, Horizonteinengungen, Pflanzendeckung u.a. mit ausreichender Genauigkeit möglich ist.

### 3.3.8. pH - Wert

Im Frühjahr 1974 wurden in den untersuchten Arealen Proben aus der oberen Bodenschicht - bis etwa 4 cm Tiefe - genommen. Die pH-Werte tiefer liegender Bodenbereiche wurden nicht erfaßt, da diese als Substrat zur Eiablage von den Legeröhren der Weibchen nicht erreicht werden können.

Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte mit einer Glaselektrode im Labor. Wie allgemein in der Bundesrepublik Deutschland üblich, wurde der pH (n/10 KCl) gemessen, der gegenüber dem pH (H<sub>2</sub>O) eine wesentlich größere jahreszeitliche Konstanz aufweist. Die Methode lehnt sich an BADEN et al. (1969) an. 10 g lufttrockene Feinerde wurden mit 25 cm<sup>3</sup> n/10 KCl versetzt, gelegentlich geschüttelt und die Messung nach zwei Stunden durchgeführt.

### 3.3.9. Höhenlage in Meter über Normalnull

Die Höhenangaben der einzelnen Areale wurden in der Regel Karten 1 : 5000 (Deutsche Grundkarte) entnommen. Da nicht alle Blätter für die Untersuchungsgebiete vorlagen, wurden auch Karten 1 : 25000 (Topographische Karten) hinzugezogen.

### 3.4. Interspezifische Ähnlichkeitskoeffizienten

Ähnlichkeitskoeffizienten sind quantitative Maße, die angeben, wie stark sich die Ansprüche der Arten an ihre Lebensräume ähneln. Sie sagen aber nichts darüber aus, ob eine direkte Beziehung zwischen den Arten besteht. Die von mir angewandte Methode wurde von DE VRIES (1954) und HAEUPLER (1974) beschrieben. Die Berechnung erfolgt über die Formeln 4 und 5 (nach DE VRIES 1954).

Formel 4  $k = \sin (T \cdot 90^\circ)$

Formel 5  $T = \frac{ad - bc}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$

Die Daten für Formel 5 sind Vierfeldertafeln zu entnehmen. Abbildung 6 zeigt das Grundmodell. Die Größen a bis d werden für alle Artenkombinationen ausgezählt und der zu jedem Artenpaar gehörige Ähnlichkeitskoeffizient wird berechnet. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 6. dargestellt und diskutiert.

|            |                 | Art x     |                 |            |
|------------|-----------------|-----------|-----------------|------------|
|            |                 | vorhanden | nicht vorhanden | Randsummen |
| Art y      | vorhanden       | a         | b               | a + b      |
|            | nicht vorhanden | c         | d               | c + d      |
| Randsummen |                 | a + c     | b + c           | a+b+c+d=n  |

Abbildung 6: Grundmodell der Vierfeldertafel.

### 3.5. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten

Wie in Abschnitt 7.1. näher erläutert wird, ist es für eine objektive Beurteilung der Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit von den einzelnen Umweltfaktoren notwendig, die relativen Häufigkeiten zu entzerren. Zur Bestimmung der entzerzten beziehungsweise "wahren" relativen Häufigkeitsverteilungen (Abbildungen 15 bis 22 und I bis XX im Anhang) wurden die gemessenen oder geschätzten Werte der Faktoren in Intensitätsklassen eingeteilt. Zur Berechnung wurden die Formeln 6 und 7 entwickelt:

$$\text{Formel 6} \quad \hat{p}_{a,i} = 100 \frac{N_{a,i}}{\sum_k N_a}$$

$$\text{Formel 7} \quad N_{a,i} = \frac{n_{a,i}}{n_{m,i}}$$

$\hat{p}_{a,i}$  : "wahre" relative Häufigkeit der Art a in der Faktorenklasse i

$n_{a,i}$  : Besetzungszahl n der Art a in der Faktorenklasse i

$n_{m,i}$  : maximal mögliche Besetzungszahl n der Faktorenklasse i,  $n_{m,i}$  ist gegeben durch die Gesamtzahl der untersuchten Areale in der Faktorenklasse i

$N_{a,i}$  : relative Besetzungszahl der Faktorenklasse i durch die Art a

$\sum_k N_a$  : Summe der relativen Besetzungszahlen der Art a in den Faktorenklassen 1, 2 ... k

### 3.6. Cluster Analyse der Areale

Die Berechnungen wurden im Regionalen Hochschulrechenzentrum der Universität Bonn mit einem von ENGELMAN & FU (1973) entwickelten Programm durchgeführt.<sup>+</sup> Das Computerprogramm gruppiert Fälle (in der vorliegenden Arbeit entspricht einem Fall ein Untersuchungsareal), die den geringsten Abstand zueinander haben. Die beiden Fälle (Areale) mit dem geringsten Abstand untereinander werden zusammengefaßt (verschmolzen) und wie ein Areal weiterbehandelt. Areale mit den nächst niedrigen Abständen werden der Reihe nach dazu gruppiert bis sämtliche Fälle gruppiert sind. Es werden also Areale zusammengefaßt, deren Faktorenkombinationen weitgehend übereinstimmen. Je größer die Verschmelzungsabstände zwischen zwei Arealen oder Arealgruppen sind, desto stärker unterscheiden sie sich in der Kombination ihrer Umweltfaktoren. Die Verschmelzungsabstände zwischen Arealen oder Arealgruppen werden über die Quadratwurzel der Abweichungsquadrate der Faktoren berechnet. Das Programm zeichnet auf der Grundlage der Berechnungen ein Dendrogramm (Abbildung 23, Seite 85), dessen Endglieder die einzelnen Areale sind. In Abbildung 23 werden die Hauptäste des Dendrogramms wiedergegeben, die den Haupt-Arealgruppen entsprechen.

### 3.7. Terminologie und Nomenklatur

Ökologische Termini werden nach SCHWERDTFEGER (1963, 1968) angewendet. Insbesondere die von SCHWERDTFEGER (1963, Seiten 38, 39) gegebenen ausführlichen Definitionen sind für das Verständnis der Arbeit von Bedeutung. Entsprechend unterscheide ich zwischen der Valenz des Faktors und der Potenz des Tieres; für die einzelnen Potenztypen gilt das Schema der Abbildung 7. Arten mit weitem Potenzbereich werden als eurypotent (1) und solche mit engem Potenzbereich als stenopotent (2) bezeichnet.

<sup>+</sup> Rechenanlage IBM / 370-168

ad (1) : eurypotente Arten werden nach Lage des Optimums als (a) oligo-, (b) meso-, (c) polyeurypotent bezeichnet.

ad (2) : stenopotente Arten werden entsprechend in (d) oligo-, (e) meso- und (f) polystenopotent eingeteilt.

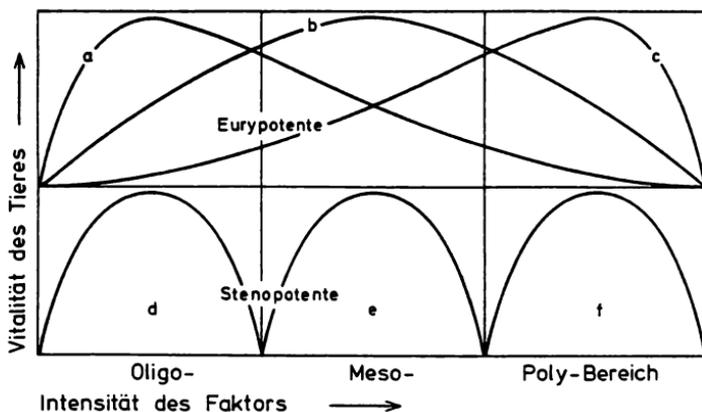


Abbildung 7: Schemata der Potenztypen. Aus SCHWERTFEGER (1963).

Die Nomenklatur der Saltatorien richtet sich nach HARZ (1969, 1975). Zur Bestimmung der Tiere wurde außerdem HARZ (1957) herangezogen.

### 3.8. Größen- und Gewichtsbestimmungen, kalorische Untersuchungen

Die Daten werden in den Tabellen V (Seite 120) und VI (Seite 121) im Anhang zusammengefaßt und geben einen Überblick über das bearbeitete Tiermaterial. Nicht berücksichtigt wurden *Tetrix bipunctata* und *Tetrix nutans*, die im Untersuchungsgebiet nur mit wenigen Populationen und geringer Individuendichte vertreten sind.

Die Vermessungen der Körpergrößen wurden an ca. 1000 Tieren

durchgeführt, Meßgenauigkeit  $\pm 0,1$  mm. Nach dem Fang wurden die Tiere gekühlt transportiert (bei etwa  $10^{\circ}\text{C}$ ), durch Gefrieren getötet und konserviert und vor dem Vermessen kurz aufgetaut; durch diese Behandlung wird gewährleistet, daß die vermessenen Körperlängen den tatsächlichen Lebendmaßen entsprechen. In Tabelle V im Anhang (Seite 120) werden für  $\sigma$  und  $\varnothing$  getrennt die arithmetischen Mittelwerte  $\bar{x}$  und Standardabweichungen des arithmetischen Mittels  $s_{\bar{x}}$  von Körperlänge (Kl), Pronotum (Pr), Elytren (El), Postfemur (Pf), Ovipositor (Ov) sowie die Zahl der Schrillzäpfchen (Schr) für mehrere Acrididen-Arten angegeben. Der Abbildung 8 ist am Beispiel eines Weibchens von *Metrioptera bicolor* zu entnehmen, zwischen welchen Punkten die einzelnen Körperteile gemessen wurden.

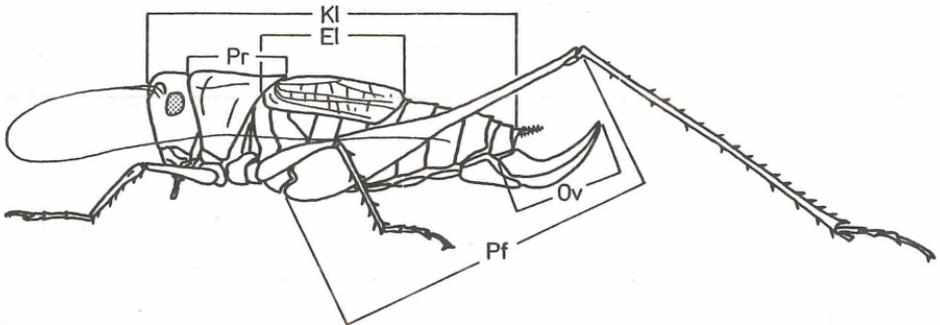


Abbildung 8: *Metrioptera bicolor*  $\varnothing$ , gekennzeichnet sind die Punkte, zwischen denen die einzelnen Körperteile vermessen wurden (Vergrößerung etwa 3-fach).

Die Lebend- beziehungsweise Trockengewichte wurden mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  mg beziehungsweise  $\pm 0,1$  mg gewogen (Tabelle VI im Anhang).

Zur Bestimmung der kalorischen Werte wurden die Tiere im August und September 1975 gefangen und wie oben beschrieben transportiert und getötet. Mehrere Individuen einer

Art ( $\sigma$  und  $\varphi$  getrennt) wurden danach 24 Stunden bei  $70^{\circ}\text{C}$  getrocknet und bis zur Gewichtskonstanz im Exsikkator aufbewahrt. Die kalorischen Bestimmungen erfolgten mit einem PARR 1411 Semimicro Oxygen Bomb Calorimeter in reinem Sauerstoff (zulässige Probengröße 20 - 200 mg). Die Werte wurden aus zwei Verbrennungen gemittelt; bei Unterschieden von mehr als 2% wurden zur Kontrolle weitere Messungen durchgeführt. Es werden cal/g Trockensubstanz angegeben, ergänzend J/g Trockensubstanz (Umrechnungsfaktor 1 cal = 4,18684 J). Die Glührückstände (Prozent anorganische Substanzen vom Trockengewicht) wurden durch 4-stündige Veraschung bei  $550^{\circ}\text{C}$  im Muffelofen ermittelt. Die kalorischen Werte sollen an anderer Stelle diskutiert werden.

#### 4. Ergebnisse mikroklimatologischer Tagesgangmessungen in ausgewählten Biotopen

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse von vier Tagesgangmessungen an klaren Strahlungstagen dargestellt, die in den folgenden Arealen durchgeführt wurden:

Rodderberg, leicht SW geneigte, trockene Arrhenatherum-Wiese auf der Rodderberg-Südkuppe, Pflanzendeckung 95%, etwa 195 m über NN.

Mucher Wiesental, etwa  $15^{\circ}$  SW geneigte, feuchte Waldwiese, Pflanzendeckung 100%, etwa 190 m über NN.

Lohrberg, Fichtenkahlschlag an der Lohrberg-Kuppe, etwa  $15^{\circ}$  nach NE geneigt, 70% Pflanzendeckung, etwa 420 m über NN.

Wolkenburg, ehemaliger Steinbruch,  $20^{\circ}$  S geneigt, Pflanzendeckung 45%, etwa 180 m über NN.

Aus Horizonteinengungen, Strahlungskurven und Höhenschichtungen von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte lassen sich Rückschlüsse auf die Bedeutung und Wirkung der

wichtigsten mikroklimatisch wirksamen Umweltfaktoren ziehen, die in den Abschnitten 6. und 7. zur Analyse der ökologischen Ansprüche der Arten herangezogen werden. Die Messungen konnte ich aus technischen Gründen nicht am gleichen Tage durchführen. Tagesmaxima beziehungsweise -minima sind daher nicht vergleichbar, sie werden durch die bestehende Großwetterlage mitgeprägt. Die Meßtage lagen in längeren Schönwetterperioden. Als Bezugsgrößen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit der vorliegenden Meßergebnisse sind in Tabelle 3 Klimadaten der vier Vergleichstage aus der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Bonn-Friesdorf zusammengefaßt.

|           | $t_{\max, 2m}$ | $t_{\min, 5cm}$ | $t_{\text{Tagesmittel, } -10cm}$ |
|-----------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| 2.7.1973  | 33°C           | 14°C            | 27°C                             |
| 13.8.1973 | 29°C           | 11°C            | 25°C                             |
| 16.8.1973 | 30°C           | 9°C             | 24°C                             |
| 23.8.1973 | 27°C           | 5°C             | 22°C                             |

Tabelle 3: Temperaturvergleichswerte für die Meßtage, aus der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Bonn-Friesdorf.

Die herausragende Bedeutung von Horizonteinengungen und Sonnenscheindauer für die mikroklimatische Qualität eines Biotops wird beim Vergleich der Tagesgänge in Abbildung 9 ersichtlich. Die Rodderberg-Kuppe unterscheidet sich von den drei weiteren Arealen durch eine sehr geringe Einengung des Horizontes, das heißt die Sonnenscheindauer wird nicht beeinträchtigt. Im Gegensatz dazu wird die Sonne im Probeareal Mucher Wiesental besonders in den Morgenstunden durch umliegende Berge und angrenzende Baumbestände erheblich abgeschirmt. Die Sonnenscheindauer wird in Spätsommer-, Winter- und Frühjahrsmonaten durch den jahreszeitlich bedingten niedrigen Sonnenstand we-

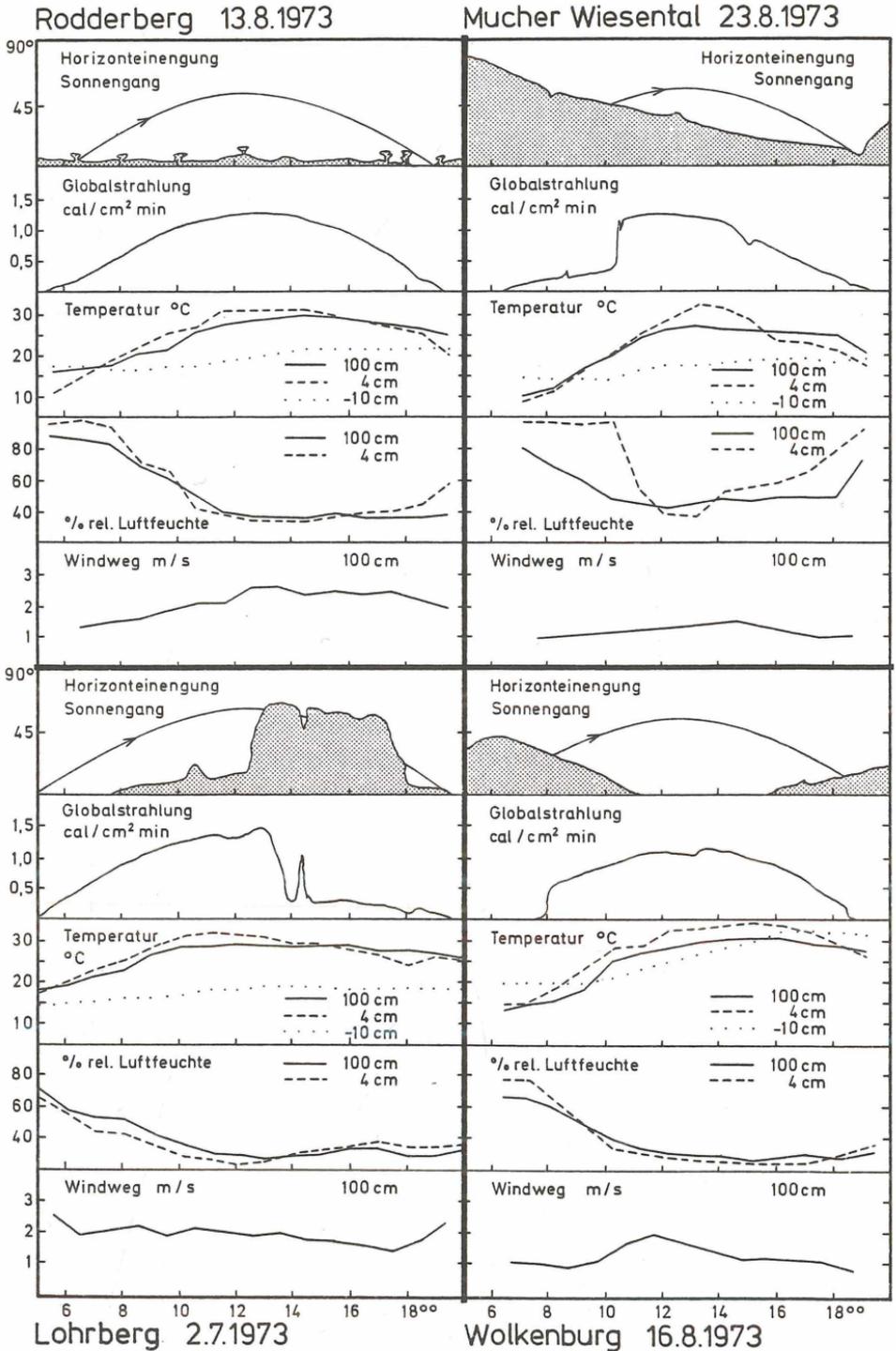


Abbildung 9: Ergebnisse der mikroklimatologischen Tagesgangmessungen, Erläuterungen in Abschnitt 4.

sentlich stärker als am Meßtag bis auf ein Minimum verkürzt. Am Lohrberg-Kahlschlag sind die Horizonteinengungen zwar geringer, jedoch deckt die hoch bewaldete Bergkuppe die Sonne durch ihre ungünstige Lage etwa ab 13<sup>00</sup> ab und reduziert die Sonnenscheindauer fast auf die Hälfte des Möglichen. Günstiger liegen dagegen die Einengungen im Steinbruch-Areal an der Wolkenburg: die Sonnenscheindauer wird auch bei kürzer werdender Tageslänge nur mäßig beeinträchtigt.

Die aufgezeigten Bedingungen spiegeln sich in den Globalstrahlungskurven wider. Der ungestörten Einstrahlung auf dem Rodderberg stehen die stark beeinträchtigten Einstrahlungen von Mucher Wiesental und Lohrberg gegenüber, die in den Morgen- beziehungsweise Nachmittagsstunden nur diffuse Himmelsstrahlung erhalten, wodurch den Arealen wesentlich weniger Strahlungsenergie zugeführt wird. Die Unregelmäßigkeiten in der Strahlungskurve vom Meßtag im Mucher Wiesental zwischen 15<sup>00</sup> und 17<sup>00</sup> sind auf kleinere durchziehende Wolken zurückzuführen. Die Globalstrahlung wird an der Wolkenburg durch Horizonteinengungen nur wenig beeinflusst, da sie nur in den frühen Morgen- und späteren Abendstunden direkt wirksam sind, wenn die Strahlungsenergie gering ist. Die leicht nach S beziehungsweise SW geneigten Areale Rodderberg, Mucher Wiesental und Wolkenburg können die zugestrahlte Energie voll aufnehmen; dagegen bewirkt die ungünstige Neigung des Lohrberg-Kahlschlages nach NE einen etwa 40%igen Energieverlust an Strahlungstagen (vergleiche Tabelle I im Anhang).

Der Verlauf von Temperatur- und Feuchtekurven wird durch die Höhe der Einstrahlungsenergie, den Pflanzenbewuchs, die Bodenfeuchte, die Beschaffenheit der Bodenoberfläche und die Windoffenheit bestimmt. Auf dem Rodderberg zeigt sich, bedingt durch den hohen Energieverlust bei der Tauverdunstung (etwa  $590 \text{ cal g}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) in den Morgenstunden, eine deutliche Verschiebung der Temperaturmaxima zum Nachmittag. Die Erwärmung von Luft, Pflanzen und Boden beginnt daher in Abhängigkeit von der Taumenge zeitver-

schofen. Vor Sonnenaufgang ist die Lufttemperatur in Bodennähe durch die nächtliche langwellige Wärmeausstrahlung deutlich geringer als in 1 m Höhe, übersteigt diese aber mit höherem Sonnenstand rasch und unterschreitet sie erst wieder nachmittags bei spitzwinkligem Strahlungseinfall. Die im Tagesverlauf relativ konstant bleibende Windbewegung verhindert einen Wärmestau in der dichten Pflanzendecke. Da sich der Umsatz der Strahlungsenergie nicht direkt an der Bodenoberfläche, sondern in der höher gelegenen und flächenmäßig wesentlich größeren Pflanzendecke vollzieht, steigt die Bodentemperatur nur langsam aber kontinuierlich im Tagesverlauf.

Die Tagesgänge der relativen Luftfeuchte verlaufen annähernd spiegelbildlich zu denen der Lufttemperatur. Der Grund dafür ist das exponentielle Anwachsen des Sättigungsdampfdrucks  $e_s$  mit steigender Temperatur. Im Verhältnis dazu wächst der Druck des Wasserdampfes  $e$  nur geringfügig in den Morgenstunden in Abhängigkeit von der Verdunstung. Im weiteren Tagesverlauf bleibt er relativ konstant oder sinkt bei starkem Massenaustausch mit höher liegenden Luftschichten wieder ab. Da sich die relative Luftfeuchte  $r$  nach  $r = \frac{e}{e_s} 100$  berechnet, wird die enge Kopplung an die Lufttemperatur deutlich. Die Tagesgangkurven sind daher analog zu interpretieren.

Die mikroklimatischen Abläufe auf der feuchten Waldwiese im Mucher Wiesental unterscheiden sich von denen des Rodderberges grundlegend. Auf Grund der spät beginnenden direkten Sonnenbestrahlung steigt die Temperatur in Bodennähe zunächst langsam; bei direkter Bestrahlung überschreitet sie dann schnell die 1 m-Temperatur. Die geringe Windbewegung und die hohe und dichte Pflanzendecke führen etwa zwischen 10<sup>00</sup> und 16<sup>00</sup> zu einem Wärmestau in der Vegetation und zu einer deutlichen Schichtung der Temperaturen. Danach sinkt die Temperatur in Bodennähe wieder deutlich unter die Temperatur in 1 m Höhe. Wegen der hohen Milieufruchte erhöht sich die Temperatur nur in den Mittags-

stunden bei hohem Sonnenstand stärker; vormittags und nachmittags wird die meiste Energie zur Verdunstung verbraucht. Die Bodentemperatur entwickelt sich wie auf dem Rodderberg, der langsame Anstieg ist auf den dämpfenden Einfluß der dichten Vegetation und der hohen Bodenfeuchte zurückzuführen. Der im Tagesverlauf kontinuierlich fallenden beziehungsweise steigenden Luftfeuchte in 1 m Höhe steht eine steil verlaufende Kurve der Luftfeuchte in Bodennähe gegenüber. Darin zeigt sich die schlechte Durchmischung durch Luftbewegung, die hohe Milieufeuchte und der Wärmestau in den Mittagsstunden. Besonders tritt die Bedeutung der direkten Sonneneinstrahlung am Sprung der Kurve gegen  $10^{\circ}$  hervor.

Am Lohrberg verlaufen Lufttemperatur- und Luftfeuchtekurven flach und ohne starke Schichtungen. Die Maxima beziehungsweise Minima liegen in den frühen Mittagsstunden. Die Luftbewegungen sind im Bereich der Bergkuppe relativ groß, die Vegetation ist offen, es kann deshalb zu keinem Wärme- oder Feuchtestau kommen. Nachdem die Sonne ab  $13^{\circ}$  durch die Horizonteneingungen verdeckt ist, werden die Kurven nicht stark, aber doch deutlich gedrückt. Das Absinken der Temperaturen beziehungsweise das Ansteigen der relativen Luftfeuchten fällt gering aus, weil die Milieufeuchte nach langer, trockener Heißwetterperiode außerordentlich gering war. Die nahezu konstante Bodentemperatur wird im Gegensatz zu den beiden vorherigen Arealen nicht durch die Vegetation und Bodenfeuchte sondern durch die ungünstige NE-Neigung bewirkt, die, wie bereits erwähnt, einen 40%igen Energieverlust hervorruft.

Der Temperaturverlauf im trocken-heißen Wolkenburg-Steinbruch hebt sich deutlich von den bisher besprochenen ab. Die Temperatur in Bodennähe liegt vom Beginn der direkten Sonnenbestrahlung am Morgen bis zum Sonnenuntergang deutlich über der 1 m-Temperatur. Zurückzuführen ist diese Schichtung auf die geringe Milieufeuchte, die günstige S-Neigung, den geringen Pflanzenwuchs und besonders auf den

großen Anteil von Gesteinsschotter an der Bodenoberfläche. Die locker liegenden Steine erhitzen sich am Tag stark und geben die Wärme abends und nachts langsam wieder ab, da ihre Wärmeleitfähigkeit, bedingt durch die vielen, mit Luft gefüllten Hohlräume, nur gering ist (GEIGER 1961, § 32). Die genannten Faktoren beeinflussen im wesentlichen auch die hohen Bodentemperaturen. Begünstigt durch den geringen Pflanzendeckungsgrad ist die eingestrahlte Energie pro Flächeneinheit groß, und der Wärmeumsatz vollzieht sich direkt an der Boden- (Stein-) oberfläche. Wie aus der fast stetigen Steigung der Bodentemperaturkurve abzulesen ist, wird ein großer Teil der zugeführten Energie im Tagesverlauf gespeichert. Die Temperaturzunahme ist der eingestrahlten Energie proportional.

Mehrfach wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Luftbewegungen eine wichtige Rolle bei der Ausbildung des Mikroklimas spielen. Wärme- und Feuchtetransport sind in der Luft im wesentlichen vom Massenaustausch abhängig, der mit höherer Windgeschwindigkeit im allgemeinen steigt. Die Stärke des Massenaustausches wird daher durch die Windoffenheit eines Areals und die Struktur der Bodenoberfläche bestimmt (GEIGER 1961).

In Abbildung 10 sind Schichtungsdiagramme für die Windgeschwindigkeiten in 4, 20, 40 und 100 cm Höhe über Grund dargestellt, die an den beschriebenen Meßtagen ermittelt wurden. Es handelt sich um gemittelte Daten. Die Windgeschwindigkeitsabnahme zum Boden hin ist bei den Kurven A (Rodderberg) und B (Mucher Wiesental) sehr ausgeprägt: in der dichten Pflanzendecke ist in 4 cm über Grund praktisch keine Luftbewegung mehr vorhanden. Die Kurven C (Lohrberg) und D (Wolkenburg) zeigen eine wesentlich geringere Abschwächung der Windgeschwindigkeiten in Richtung Bodennähe. Bei 70%iger Pflanzendeckung im Lohrberg-Kahlschlag verläuft die Abnahme gleichmäßig, bei 45%iger Deckung im Wolkenburg-Steinbruch nimmt die Windgeschwindigkeit aber erst in unmittelbarer Bodennähe erheblich ab. Die darge-

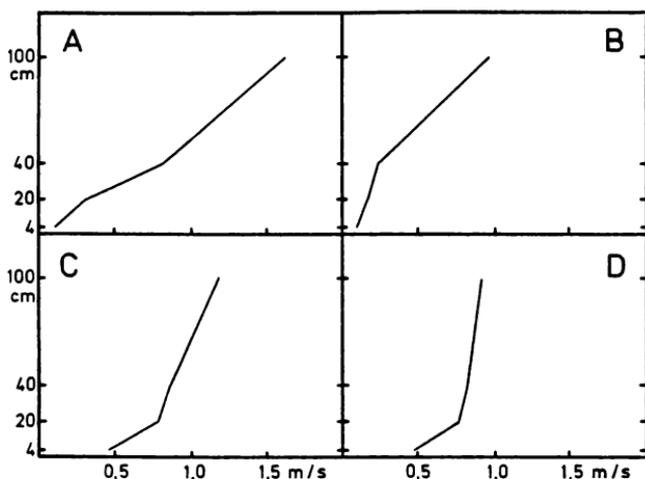


Abbildung 10: Windgeschwindigkeitsschichtungen. A, Rodderberg; B, Mucher Wiesental; C, Lohrberg; D, Wolkenburg.

stellten mikroklimatischen Eigenschaften der Biotope bedingen sehr unterschiedliche Saltatorienfaunen, die kurz beschrieben werden sollen.

Rodderberg: *Phaneroptera falcata*, *Leptophyes punctatissima*, *Tettigonia viridissima*, *Metrioptera bicolor*, *Pholidoptera griseoptera*, *Chorthippus brunneus*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus parallelus*, *Gomphocerus rufus*.

Mucher Wiesental: *Leptophyes punctatissima*, *Pholidoptera griseoptera*.

Lohrberg: *Pholidoptera griseoptera*, *Tetrix undulata*, *Chorthippus brunneus*.

Wolkenburg: *Phaneroptera falcata*, *Leptophyes punctatissima*, *Platycleis albopunctata*, *Pholidoptera griseoptera*, *Tetrix bipunctata*, *Oedipoda caerulescens*, *Chorthippus brunneus*, *Chorthippus biguttulus*.

Den artenreichen Faunen der strahlungsgünstigen Biotope Rodderberg und Wolkenburg stehen deutlich abgesetzt die

artenarmen der strahlungsungünstigen Areale Mucher Wiesental und Lohrberg gegenüber.

## 5. Populationsdynamische Aspekte

Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, daß sich die ökologische Potenz einer Art im Spektrum der von ihr besiedelten Biotope widerspiegelt. Durch die Analyse ihrer Lebensräume können daher Rückschlüsse auf die für die Verteilung wichtigen Faktoren und die ökologischen Ansprüche gezogen werden. Vorausgesetzt werden muß, daß die Arten eine repräsentative Zahl der Biotope, die ihren ökologischen Ansprüchen weitgehend genügen, tatsächlich besiedeln. Im folgenden ist zu prüfen, ob diese Voraussetzung Gültigkeit hat oder inwieweit die Verteilung von Faktoren beeinflußt wird, die im Gelände nicht direkt meßbar oder abschätzbar sind (und von mir nicht berücksichtigt wurden). Anstoß für die Fragestellung gab die Tatsache, daß nur sieben der zwanzig bearbeiteten Arten auf den meisten Kahlschlägen, jungen Schonungen und an Wegrändern nachzuweisen waren, der Rest jedoch nur ausnahmsweise oder gar nicht, obwohl viele der im weiteren als Kahlschlag-Schonung-Areale bezeichneten Biotope scheinbar günstige Lebensbedingungen geboten hätten. Tabelle 4 gibt an, wieviel Prozent der untersuchten Kahlschlag-Schonung-Areale von den einzelnen Arten besiedelt werden. In erster Linie können zwei Gründe für das seltene Auftreten beziehungsweise Fehlen von dreizehn Arten in Kahlschlag-Schonung-Arealen angeführt werden, wobei von einem ausreichenden Nahrungsangebot in allen Arealen ausgegangen wird:

1. Die Vagilität und Vermehrungsrate der Arten sind zu gering, um neue Areale besiedeln zu können.
2. Es fehlt ein auslösender Faktor, der die Tiere zum Verlassen ihrer alten Lebensräume und zum Aufsuchen neuer veranlaßt.

| Art              | % besiedelter Kahlschläge,<br>Schonungen und Wegränder |                |
|------------------|--|----------------|
| Ph. griseoptera  | 87   |                |
| L. punctatissima | 44   |                |
| Ch. brunneus     | 82   | Gruppe I       |
| T. undulata      | 65   | häufige Arten  |
| N. sylvestris    | 33   |                |
| G. rufus         | 35   |                |
| Ph. falcata      | 17   |                |
| T. viridissima   | 2  |                |
| M. brachyptera   | 2  |                |
| M. roeseli       | 8  | Gruppe II      |
| O. viridulus     | 6  | seltene Arten  |
| Ch. biguttulus   | 2  |                |
| Ch. parallelus   | 4  |                |
| Ch. montanus     | 4  |                |
| P. albopunctata  | 0  |                |
| M. bicolor       | 0  |                |
| T. nutans        | 0  | Gruppe III     |
| T. bipunctata    | 0  | fehlende Arten |
| Oe. caerulescens | 0  |                |
| Ch. vagans       | 0  |                |

Tabelle 4: Prozentuale Besiedlungshäufigkeiten auf Kahlschlägen, in Schonungen und an Wegrändern.

Der Vergleich der Kahlschlag-Schonung-Areale mit den Lebensräumen der selteneren Arten läßt einen wesentlichen Unterschied erkennen: Kahlschlag-Schonung-Areale sind Habitatinseln, die plötzlich neu entstehen und einer stetigen, sehr raschen Sukzession der Vegetation unterliegen. Die Biotope der selteneren Arten weisen dagegen eine relative Konstanz über viele Jahre hinweg auf. Zu diesen Lebensräumen gehören zum Beispiel die ehemaligen Weinberge,

die Steinbrüche und die staunassen, forstwirtschaftlich nicht genutzten Wiesen um den Broderkonsberg.

Die Sukzession der Vegetation eines Kahlschlag-Schonung-Areals beginnt im Extrem ohne Krautschicht, setzt sich mit schnell zunehmender Pflanzendeckung fort und nähert sich bereits nach wenigen Jahren wieder dem ursprünglichen Erscheinungsbild Wald. Die jährlichen Veränderungen des Milieus sind sehr groß, so daß günstige Lebensbedingungen für die verschiedenen Arten schnell entstehen und ebenso **rasch wieder verschwinden**. Besiedler dieser Areale müssen an diese Entwicklung mit ihrer Vagilität und Vermehrungsrate angepaßt sein, um von bestehenden, sich aber in ihren mikroklimatischen Eigenschaften rasch verschlechternden Lebensräumen einen frischen Kahlschlag schnell und in genügender Individuenzahl erreichen und eine Population aufbauen zu können. So ermöglichen die ungleich größere Vagilität und die nach RICHARDS & WALOFF (1954) fast doppelt so große Fertilität *Chorthippus brunneus* im Gegensatz zu *Chorthippus parallelus*, die Landschaft in weit größerem Maße zu durchdringen. Arten der Gruppe I (Tabelle 4) gehören zu den Erstbesiedlern eines Kahlschlages, das heißt, sie treten schon im ersten und zweiten Jahr nach dem Schlag auf. Zu einem von Art zu Art unterschiedlichen Zeitpunkt beginnen sich die günstigen Lebensräume schnell wieder zu verkleinern, was zu einer Erhöhung der Populationsdichte, zu größerem Populationsdruck und zur Wanderbereitschaft der Einzelindividuen führt. Nach Untersuchungen von RIEGERT, FULLER & PUTNAM (1954) an Populationen von *Camnula pellucida* (SCUDD.) und *Melanoplus m. mexicanus* (SAUSS.) verbreiten sich überbesiedelte Populationen bis zu neun mal schneller als Populationen mit geringer Individuendichte. In der Regel beginnt die Entwicklung erneut auf einem frischen Kahlschlag. Es liegt daher ein sich stetig wiederholender Ablauf vor, der eine relativ große ökologische Potenz der Arten voraussetzt und der bedingt, daß alle Kahlschlag-Schonung-Besiedler häufig und regelmäßig im gesamten Untersuchungsgebiet

vorkommen. Als Beispiel für den typischen Besiedlungsablauf und die Dispersion der Arten sei in Abbildung 11 ein größeres Areal am Ölberg vorgestellt. Das Gelände ist etwa W bis WNW exponiert.

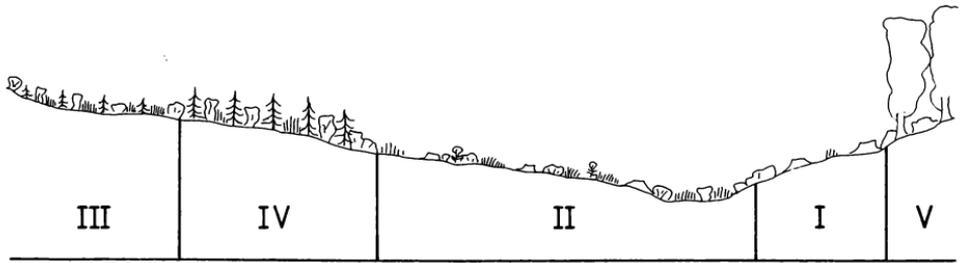


Abbildung 11: Idealisierter Schnitt durch ein Kahlschlag-Schonung-Areal am Ölberg. Die Numerierung entspricht den Sukzessionsstufen der Vegetation (Maßstab  $\frac{1}{ca. 25 m}$ ).

- Stufe I: Frischer Fichten-Eichen-Rotbuchen-Kahlschlag mit geringem Pflanzendeckungsgrad
- Stufe II: drei Jahre alte niedrig bewachsene Lärchen-Rotbuchen-Aufforstung, Pflanzendeckung etwa 70%
- Stufe III: etwa fünf Jahre alte Lärchen-Rotbuchen-Aufforstung mit dichter Krautschicht, Pflanzendeckung etwa 95%
- Stufe IV: Lärchenaufforstung, Baumhöhe etwa 2,5 m, dichter Unterwuchs aus Brombeer- und Rotbuchegebüsch
- Stufe V: Fichten-Eichen-Rotbuchen-Hochwald

Saltatorienfauna und -dichte werden in Tabelle 5 wiedergegeben.

Das vorgestellte Beispiel ist als Grundmodell anzusehen für "unreife Ökosysteme", wie sie die instabilen Sukzessionsstadien der Kahlschlag-Schonung-Areale im Untersuchungsraum darstellen. Typisch sind die frühen Populationsmaxima von *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata* und *Nemobius sylvestris* in den Stufen I und II, sowie die in Stufe III auftretenden Maxima der anderen Arten.

| Arten \ Sukzessionsstufen | I | II | III | IV  | V   |
|---------------------------|---|----|-----|-----|-----|
| <i>Ch. brunneus</i>       | 6 | 15 | 10  | .   | .   |
| <i>T. undulata</i>        | 3 | 19 | 8   | .   | .   |
| <i>N. sylvestris</i>      | 1 | 3  | 2   | .   | .   |
| <i>G. rufus</i>           | 2 | 6  | 8   | .   | .   |
| <i>Ph. griseoptera</i>    | 3 | 4  | 6   | (3) | (x) |
| <i>L. punctatissima</i>   | . | 2  | 4   | (2) | .   |
| <i>Ph. falcata</i>        | . | 2  | 6   | (1) | .   |

Tabelle 5: Saltatorienfauna und -dichte der Individuen/100 m<sup>2</sup> in einem Kahlschlag-Schonung-Areal am Ölberg Ende August 1973. Die in Klammern gesetzten Dichteangaben sind Schätzungen, (x) bezeichnet gelegentliche Fänge.

*Leptophyes punctatissima* und *Phaneroptera falcata* erscheinen in der Regel erst bei relativ hohem Pflanzendeckungsgrad und sind noch zusammen mit *Pholidoptera griseoptera* in Stufe IV, die sich in ihrem Habitus wieder stark dem Wald nähert, nachzuweisen. In Stufe V, einem lichten Hochwald mit ausgeprägter Krautschicht, sind vereinzelt Imagoes von *Pholidoptera griseoptera* aufgetreten. Dabei dürfte es sich um vom Kahlschlag-Schonung-Areal eingewanderte Tiere handeln; Larven konnten nicht nachgewiesen werden. Dieses Grundmodell kann in Abhängigkeit von den lokalen Umweltfaktoren vielfach variieren. Die Witterung nimmt sowohl indirekt über den Sukzessionsablauf der Vegetation als auch direkt über die Mortalitätsrate der Populationen und deren Fertilität Einfluß auf das zahlenmäßige Verhältnis der Arten zueinander. RICHARDS & WALOFF (1954) führen die Dichteschwankungen von Jahr zu Jahr, die für die einzelnen Arten verschieden stark und zum Teil gegenläufig sein können, auf die unterschiedliche Witterung der einzelnen Jahre mit ihren klimatischen Einflüssen besonders auf Eier und Larven zurück. Nach Ergebnissen von GYLLENBERG (1974) wird die Größe der von ihm un-

tersuchten Population von *Chorthippus parallelus* in Finnland hauptsächlich durch witterungsabhängige abiotische Faktoren reguliert; neben dem Niederschlag kommt in nördlichen Breiten insbesondere der Temperatur die größte Bedeutung zu.

Im Gegensatz zu den Kahlschlag-Schonung-Arealen befinden sich die Populationen in sich nur langsam verändernden "reifen Ökosystemen" in einem wesentlich festeren Gleichgewicht. RICHARDS & WALOFF (1954) stellten bei ihren in England durchgeführten Untersuchungen an Acrididenpopulationen in über mehrere Jahre konstanten Arealen nur geringe Mobilität der Individuen fest. So blieb der Populationsaustausch zwischen zwei nur durch einen schmalen Pfad getrennten Arealen unter 10% im Jahresverlauf. Da ein auslösendes Moment zur Wanderbereitschaft unter diesen Bedingungen fehlt, werden auch günstige neue Lebensräume nur selten und zufällig erreicht. Hinzu kommt, daß die Entfernung zu neuen Habitatsinseln für die seltenen Arten normalerweise viel größer ist, als für die weit verbreiteten Kahlschlag-Schonung-Besiedler. Es werden daher insbesondere kleine Kahlschläge und Schonungen auch bei guter Vagilität der Tiere in der Regel nur dann besiedelt, wenn sie unmittelbar an bereits bewohnte Gebiete angrenzen. Ein weiterer möglicher Grund für das Fehlen auf mikroklimatisch scheinbar günstigen Kahlschlägen und Schonungen kann darin bestehen, daß die Arten nicht an die schnelle Sukzession angepaßt sind und eine Population sich deshalb nicht aufbauen kann. Auf das Problem von potentiellen Biotopen wird in Abschnitt 8. näher eingegangen. Die dargestellten populationsdynamischen Aspekte weisen auf die besondere Bedeutung der "stabilen Ökosysteme" hin und machen deutlich, wie wichtig Erhalt und Schutz dieser Areale für den Großteil der Saltatorienfauna ist.

## 6. Ermittlung von Artengruppen ähnlicher ökologischer Ansprüche auf der Grundlage interspezifischer Ähnlichkeitskoeffizienten

Der Analyse liegt der Gedanke zugrunde, daß Arten entsprechend dem Grad der Übereinstimmung ihrer ökologischen Potenzen häufig, selten oder gar nicht gemeinsam in denselben Biotopen auftreten. Interspezifische Ähnlichkeitskoeffizienten erlauben, ökologisch verwandte Arten zu Gruppen zusammenzufassen und eine quantitative Aussage über den Grad ihrer ökologischen Ähnlichkeit zu machen. Die Koeffizienten sagen nichts über die Beziehungen der Arten untereinander und über die Faktoren aus, die für die Ähnlichkeiten oder Divergenzen zwischen den Arten verantwortlich sind.

Die Ähnlichkeitskoeffizienten  $k$  können Werte zwischen  $+1$  und  $-1$  annehmen, wobei  $k = +1$  bedeutet, daß zwei Arten ausschließlich zusammen auftreten,  $k = -1$ , daß die Art A alle Biotope besiedelt, in denen Art B nicht auftritt und umgekehrt und  $k = 0$ , daß keine Zusammenhänge zwischen dem Auftreten beider Arten bestehen. Die berechneten Werte sind somit Korrelationskoeffizienten sehr ähnlich. Zur Berechnungsmethode siehe Abschnitt 3.5.; Tabelle IV im Anhang sind alle berechneten Ähnlichkeitskoeffizienten zu entnehmen. Die Ergebnisse der Analyse sind im Konstellationsdiagramm (Abbildung 12) zusammengefaßt. Dargestellt sind die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $P < 0,01$  hoch signifikanten Assoziationskoeffizienten. Die Berechnung erfolgte anhand der von WEBER (1972, Kapitel 65.3.) beschriebenen Methode, wobei geprüft wird, ob die Nullhypothese ( $H_0$ ) - es gibt keinen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von zwei Arten - oder die Alternativhypothese ( $H_A$ ) - es besteht ein Zusammenhang - angenommen werden kann.  $H_A$  wird dann angenommen, wenn die errechneten  $\chi^2$ -Werte größer sind als die Prüfgröße  $\chi^2_{0,01} = 6,62$  bei einem Freiheitsgrad.

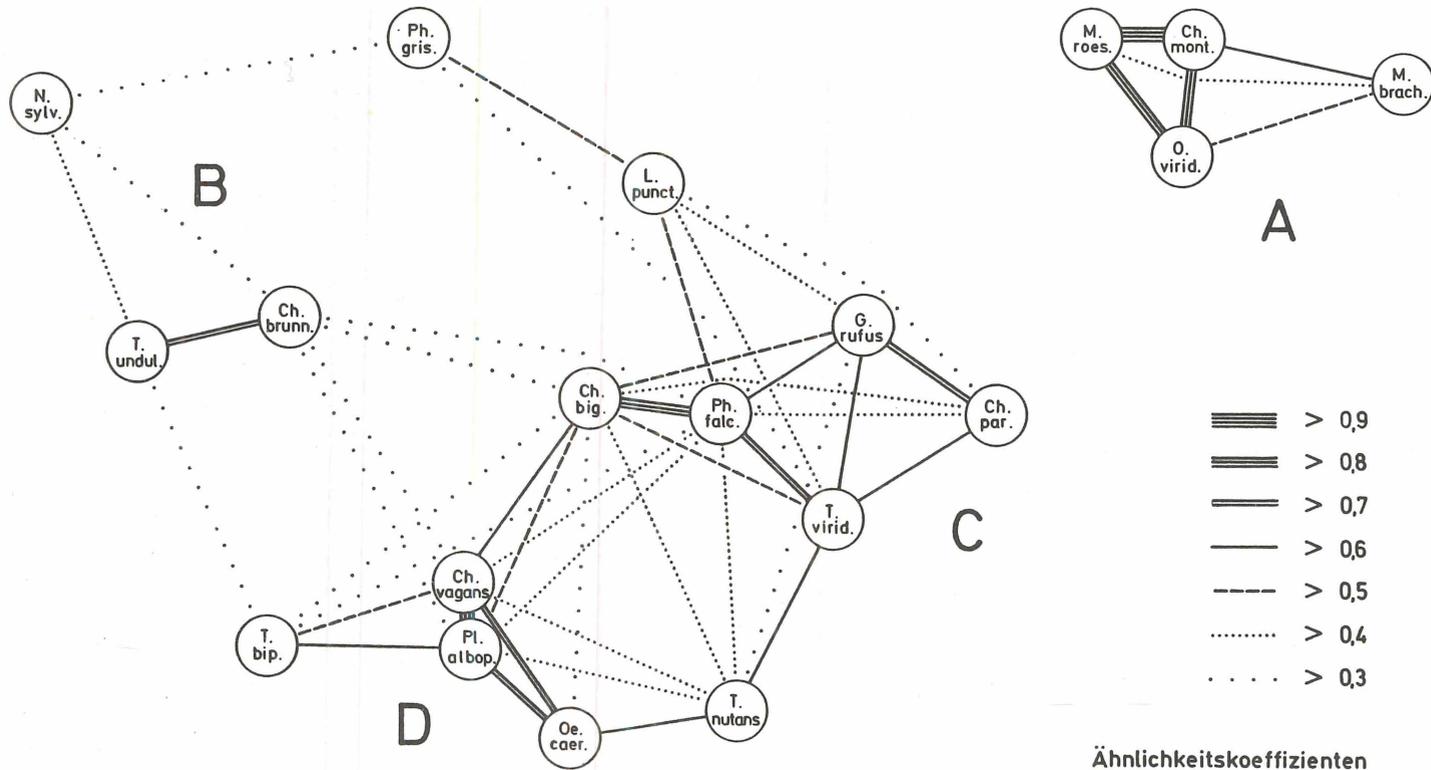


Abbildung 12: Konstellation der Arten auf der Grundlage ihrer ökologischen Ähnlichkeitskoeffizienten. A, B, C und D bezeichnen die ökologisch verwandten Artengruppen. Die Abkürzungen der Artnamen sind in Tabelle I im Anhang (Seite 117) erläutert. Weitere Hinweise in Abschnitt 6. auf den Seiten 47 bis 50.

Der Grad der ökologischen Verwandtschaft wird in Abbildung 12 durch den Abstand der Arten untereinander dargestellt (jedem Kreis entspricht eine Art). Durch den im Grunde dreidimensionalen Charakter des Diagramms war es nicht immer möglich, den wahren Abstand einzutragen, daher wurden zur weiteren Abstufung die unterschiedlichen Verbindungslinien verwendet.

Das Konstellationsdiagramm zeigt zwei voneinander getrennte Artengruppen, eine kleine Gruppe A bestehend aus vier Arten und eine in sich gegliederte größere Artengruppe mit den Untergruppen B, C und D.

Gruppe A: Charakterarten der feuchten bis staunassen Wiesen. *Metrioptera roeseli*, *Omocestus viridulus*, *Chorthippus montanus* und etwas abgesetzt *Metrioptera brachyptera*. Die interspezifische ökologische Ähnlichkeit in der Gruppe ist groß, keine Verbindungen bestehen dagegen zu den anderen Artengruppen.

Gruppe B: Weit verbreitete, typische Kahlschlag- und Wegrandbesiedler. *Chorthippus brunneus* und *Tetrix undulata* bilden den Schwerpunkt der Gruppe, deutlich abgesetzt ist *Nemobius sylvestris*. Die Ähnlichkeiten sind vergleichsweise gering. Die Querverbindungen zu den Gruppen C und D, insbesondere durch *Chorthippus brunneus*, lassen erkennen, daß die Art auch häufig in diesen Assoziationen auftritt. *Nemobius sylvestris* besitzt eine schwache ökologische Ähnlichkeit mit *Pholidoptera griseoptera*.

Gruppe C: Eine in sich gegliederte Gruppe mit Schwerpunkt bei *Phaneroptera falcata*, *Chorthippus biguttulus* und *Tettigonia viridissima*, Besiedler relativ trockener Wiesen. Etwas abgesetzt davon *Gomphocerus rufus* und *Chorthippus parallelus*. *Leptophyes punctatissima* und *Pholidoptera griseoptera* stellen eine Verbindung zur Gruppe B

her. Insbesondere über *Chorthippus biguttulus* und *Tettigonia viridissima* bestehen Beziehungen zu *Chorthippus vagans*, *Platycleis albopunctata* sowie *Tetrix nutans* in Gruppe D. *Tetrix nutans* nimmt eine Zwischenstellung ein.

Gruppe D: Charakterarten der trocken-heißen Steinbrüche, die auf schütter bewachsenen, steinigen Böden leben. Den Schwerpunkt der Gruppe bilden *Chorthippus vagans* und *Platycleis albopunctata* mit einer sehr großen ökologischen Ähnlichkeit sowie *Oedipoda caerulea*. Leicht abgesetzt sind *Tetrix bipunctata* und *Tetrix nutans*. Auf die Verbindungen zu den anderen Gruppen wurde bereits oben hingewiesen.

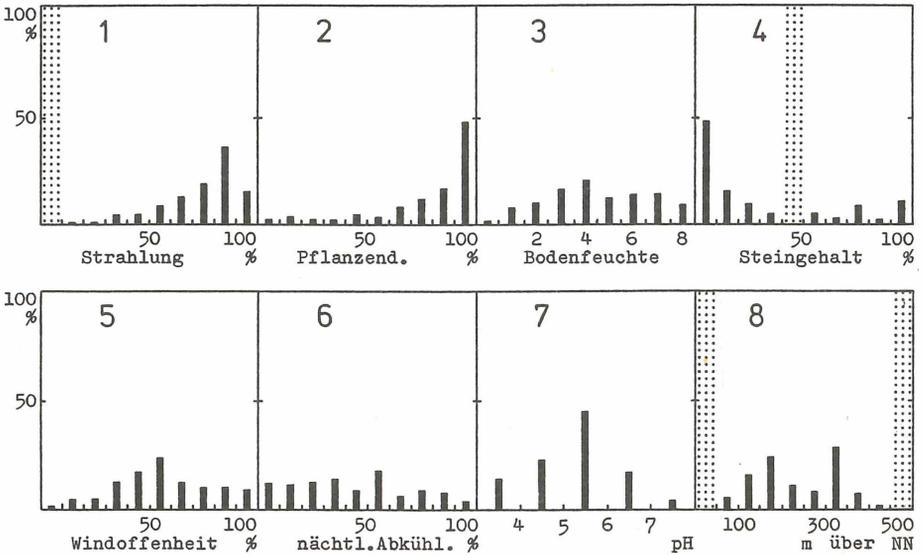
Nicht berücksichtigt wurde *Metrioptera bicolor*, da die Art nur in zwei Untersuchungsarealen nachgewiesen wurde und zu keiner anderen Art signifikante ökologische Ähnlichkeiten bestehen.

Die Berechnung von Ähnlichkeitskoeffizienten und die Erstellung von Konstellationsdiagrammen ermöglichen auf einfache Weise, quantitativ die charakteristischen Assoziationen und die ökologischen Verwandtschaften der Arten untereinander zu erfassen. Aufgabe der weiteren Analyse ist es, die Faktoren beziehungsweise Faktorenkombinationen zu ermitteln, die für die Lebensräume der Artengruppen charakteristisch sind und welche ökologischen Unterschiede innerhalb der Gruppen bestehen.

7. Die Bedeutung einzelner Umweltfaktoren für die Verteilung der Arten
- 7.1. Die Intensität der Faktoren, ihre Zusammensetzung und ihre Beziehungen zueinander in den 172 untersuchten Arealen

In den Abschnitten 1., 4. und 5. wurde bereits auf die Bedeutung des Mikroklimas für die Dispersion der Arten hingewiesen. Im folgenden soll untersucht werden, inwieweit die Verteilung auf einzelne Umweltfaktoren zurückgeführt werden kann. Die Auswahl der Faktoren, anhand derer die ökologischen Potenzen der Arten geprüft werden, wurde in erster Linie unter dem Aspekt ihrer Wirksamkeit auf das Mikroklima getroffen. Einen Überblick über die 172 im Siebengebirge und auf dem Rodderberg bearbeiteten Areale und die linearen Beziehungen der Faktoren untereinander gibt Abbildung 13, in der die relativen Häufigkeitsverteilungen der Faktoren dargestellt sind. Ergänzend sind die Korrelationsmatrix der Faktoren, die Mittelwerte  $\bar{x}$ , die Standardabweichungen  $s$  sowie die 99%igen Vertrauensbereiche für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten der Darstellung zu entnehmen. Die einzelnen Faktoren sind in der Regel in 10 Intensitätsklassen unterteilt, Ausnahmen bilden die Bodenfeuchte mit 9 und der pH-Wert mit 5 Klassen. Die in Abbildung 13 für die Faktoren (1) bis (8) gegebenen Daten sollen in gleicher Reihenfolge kurz diskutiert werden.

Strahlung (1): Etwa 50% aller Areale nehmen jeweils mehr als 80% der angebotenen direkten Sonnenstrahlung und diffusen Himmelsstrahlung im Untersuchungszeitraum auf. Hoch positiv korreliert ist der Faktor Strahlung (1) mit der Windoffenheit (5),  $r_{(1)(5)}=0,638$ . Die negativen Korrelationen mit den Größen Bodenfeuchte (3) und nächtliche Abkühlung (6) werden beeinflusst durch die hohen Korrelationen der beiden Faktoren mit der Windoffenheit. Bei konstanter Windoffenheit lassen sie sich statistisch auf dem 5%-Niveau bei  $172-3=169$  Freiheitsgraden (die Anzahl der



|                 |     |        |        |        |        |        |        |        |       |                          |
|-----------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------------------------|
| Strahlung       | (1) | 1,000  |        |        |        |        |        |        |       | $r_{170;0,01} =  0,196 $ |
| Pflanzend.      | (2) | 0,010  | 1,000  |        |        |        |        |        |       | $r_{170;0,05} =  0,150 $ |
| Bodenfeuchte    | (3) | -0,415 | 0,314  | 1,000  |        |        |        |        |       |                          |
| Steingehalt     | (4) | 0,051  | -0,506 | -0,634 | 1,000  |        |        |        |       |                          |
| Windoffenheit   | (5) | 0,638  | -0,128 | -0,664 | 0,252  | 1,000  |        |        |       |                          |
| nächtl. Abkühl. | (6) | -0,334 | 0,261  | 0,641  | -0,568 | -0,520 | 1,000  |        |       |                          |
| pH              | (7) | 0,065  | 0,032  | -0,393 | 0,298  | 0,224  | -0,383 | 1,000  |       |                          |
| m über NN       | (8) | -0,050 | 0,047  | 0,327  | -0,212 | -0,262 | 0,361  | -0,606 | 1,000 |                          |

|        |                                     | (1)  | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7) | (8)     |
|--------|-------------------------------------|------|------|------|--------|-------|------|-----|---------|
|        |                                     | Str. | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH  | m ü. NN |
| n: 172 | $\bar{x}$ :                         | 74,0 | 81,9 | 4,5  | 25,6   | 52,6  | 43,6 | 5,3 | 235     |
|        | s:                                  | 17,8 | 22,5 | 2,1  | 32,8   | 21,8  | 26,7 | 0,9 | 92      |
|        | 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): | 3,5  | 4,5  | 0,4  | 6,5    | 4,3   | 5,3  | 0,2 | 18,3    |

Abbildung 13: Relative Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Faktoren in den 172 bearbeiteten Arealen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.

Freiheitsgrade gilt auch für alle folgenden partiellen Korrelationskoeffizienten) nicht sichern, wie den partiellen Korrelationskoeffizienten

$$r_{(1)(3),(5)} = 0,015$$

$$r_{(1)(6),(5)} = -0,003$$

zu entnehmen ist.

Pflanzendeckung (2): Areale mit geringem Pflanzendeckungsgrad sind auf die Steinbrüche und auf frische Kahlschläge konzentriert. Die meisten Biotope haben eine gut ausgebildete Krautschicht. Auf dem 1%-Niveau zu sichern ist die negative Korrelation  $r_{(2)(4)} = -0,506$  zwischen Pflanzendeckung (2) und Steingehalt (4). Die Korrelationen mit Bodenfeuchte (3) und nächtlicher Abkühlung (6) beruhen auf hohen Korrelationen mit dem Faktor Steingehalt (4) und können auf dem 5%-Niveau nicht gesichert werden. Die partiellen Korrelationskoeffizienten betragen bei konstantem Steingehalt

$$r_{(2)(3),(4)} = -0,010$$

$$r_{(2)(6),(4)} = -0,037.$$

Bodenfeuchte (3): Es liegt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Areale über die Feuchteskala vor. Der Faktor ist mit fast allen anderen Größen hoch korreliert. Statistisch nicht sichern lassen sich die linearen Beziehungen zur Strahlung (1) (s.o.) sowie zur Höhenlage, m über NN (8); bei konstantem pH-Wert (7) beträgt

$$r_{(3)(8),(7)} = 0,122.$$

Steingehalt (4): Das Dichtemittel der Verteilung liegt deutlich im Oligo-Bereich. Sehr hohe Steingehalte an der Bodenoberfläche sind meist auf die A-C Horizonte der Steinbrüche und mancher Kahlschläge an Bergkuppen beschränkt. Die negativen Korrelationen mit Pflanzendeckung (2), Bodenfeuchte (3) und nächtlicher Abkühlung (6) sind auf dem 1%-Niveau gesichert. Dagegen werden die Beziehungen zu Windoffenheit (5), pH-Wert (7) und Höhenlage, m über NN (8) durch den Faktor nächtliche Abkühlung (6) beeinflusst; die partiellen Korrelationskoeffizienten betragen

$$r_{(4)(5),(6)} = -0,062$$

$$r_{(4)(7),(3)} = 0,069$$

$$r_{(4)(8),(6)} = -0,009$$

Windoffenheit (5): Nur wenige der potentiellen Saltatorienbiotope sind stark windgeschützt, wie zum Beispiel einige im Tal liegende Waldwiesen, die den untersten Faktorenklassen zugeordnet werden können. Auf Korrelationen mit den Faktoren Strahlung (1) und Pflanzendeckung (2) wurde bereits hingewiesen. Die Beziehung zur nächtlichen Abkühlung (6) läßt sich noch auf dem 5%-Niveau sichern, da  $r_{(5)(6),(3)} = -0,164$ , wird aber deutlich von der Bodenfeuchte (3) beeinflusst. Die Korrelationen mit pH-Wert (7) und Höhenlage, m über NN (8) lassen sich, wie schon die Beziehung zum Steingehalt (4) (s.o.), nicht sichern, da

$$r_{(5)(7),(3)} = -0,054$$

$$r_{(5)(8),(6)} = -0,093.$$

Nächtliche Abkühlung (6): Die Verteilung in den Klassen ist weitgehend gleichmäßig, nur besonders nachtwarme Areale sind seltener vertreten. Auf die Korrelationen mit den Faktoren (1) bis (5) wurde bereits eingegangen, die schwachen Beziehungen zum pH-Wert (7) und zur Höhenlage, m über NN (8) sind auf dem 5%-Niveau gesichert.

Wasserstoffionenkonzentration - pH (KCl) Wert (7): Neben den mikroklimatisch wirksamen Faktoren (1) bis (6) wurde die Bedeutung des pH-Wertes geprüft, da viele Arten ihre Eier in die oberste Bodenschicht ablegen. Etwa 50% der Areale liegen im Bereich pH 5 bis pH 6. Auf dem 5%-Niveau gesichert sind die schwachen Beziehungen zu Bodenfeuchte (3) und nächtlicher Abkühlung (6), für die hohe Korrelation mit der Höhenlage, m über NN (8), ist  $P < 0,001$ . Zurückzuführen ist die Beziehung auf die im Rheintal liegenden mehr neutralen Böden der ehemaligen Weinberge und einiger Steinbrüche und die hoch gelegenen stark sauren Wiesen im Bereich des Broderkonsberges sowie vieler Fichtenkahlschläge und -aufforstungen an den Bergkuppen. Die

hohe Korrelation zwischen diesen beiden Faktoren erschwert erheblich die Beurteilung ihrer Bedeutung für die Arten.

Höhenlage in Meter über NN (8): Die größten Höhenunterschiede bestehen zwischen einem Kahlschlagareal am Lohrberg, etwa 425 m über NN, und dem ehemaligen Weinberg am Drachenfels im Rheintal, etwa 80 m über NN. Ca. 85% aller Areale liegen zwischen 100 und 350 m über NN. Der Einfluß der unterschiedlichen Höhenlage auf das Mikroklima der Areale muß unter anderem auf Grund des angrenzenden Rheintales als nicht einheitlich angesehen werden. Eine Interpretation der Ergebnisse ist daher erschwert. Der Faktor wurde aus diesem Grunde nicht bei der Cluster Analyse der Areale berücksichtigt. Auf die Korrelationen mit den weiteren Faktoren wurde bereits oben hingewiesen.

Eine objektive Beurteilung der ökologischen Potenzen der Arten setzt eine gleiche Gewichtung aller Intensitätsklassen der erfaßten Umweltfaktoren voraus. Den Häufigkeitsverteilungen in Abbildung 13 ist zu entnehmen, daß die Gesamtheit der untersuchten Areale diesem Anspruch nicht genügt. Wegen der vielfältigen Beziehungen der Faktoren untereinander ist eine gleich starke Besetzung aller Klassen in der Praxis nicht zu erreichen. Die relativen Häufigkeitsverteilungen der Arten mußten daher für eine korrekte Beurteilung entzerzt werden, was durch die Berechnung der hier als "wahre" relative Häufigkeiten bezeichneten Größen geschieht (vergleiche Abschnitt 3.5.). Die Klassenbesetzungszahlen der Arten werden dabei in Beziehung gesetzt zu den entsprechenden Besetzungszahlen aller Untersuchungsareale, und auf der Grundlage der erhaltenen relativen Besetzungszahlen werden die "wahren" relativen Häufigkeiten berechnet. Die Vergleiche der Vorzugsbereiche in den Abschnitten 7.2. und 7.9. werden anhand der Toleranzen (= Spannweiten) sowie der relativen Fundhäufigkeitsmaxima (= Dichtemittel) der Verteilungen vorgenommen. Zur Klassifizierung der ökologischen Potenzgruppen wird die in Abschnitt 3.7. nach SCHWERDTFEGER

(1963) erläuterte Nomenklatur verwendet. Wegen der sehr unterschiedlichen Verteilungsformen und Zahl der besiedelten Areale wurde auf statistische Tests hinsichtlich der Gleichheit von Mittelwerten, Varianzen oder Medianen verzichtet, da sie insbesondere für die ökologischen Abgrenzungen der stenöken, seltenen Arten nicht angewendet werden können. Die den Abbildungen I bis XX im Anhang zu entnehmenden 99%igen Vertrauensbereiche der Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten können als weitere Orientierung dienen.

## 7.2. Sonnenstrahlung

Die Bedeutung der Sonnenstrahlung (Insolation + diffuse Himmelsstrahlung) und ihre Auswirkung auf das Mikroklima wurde in Abschnitt 4. anhand von Beispielen dargestellt. Im wesentlichen ist eine hohe Strahlungsaufnahme mit einer deutlichen Temperaturerhöhung in Boden und Luft und einer Senkung der relativen Luftfeuchte im Areal verbunden. Auf letztere soll bei der Behandlung der Faktoren Pflanzendeckung und Bodenfeuchte näher eingegangen werden. Es ist zu erwarten, daß die poikilothermen, meist wärmeliebenden Saltatorien in Abhängigkeit vom Temperaturpräferendum eine Bindung an Biotope mit bestimmtem Strahlungsgenuß besitzen. Die Vorzugstemperaturen der Caeliferen liegen etwa zwischen 36 und 39°C (JAKOVLEV & KRÜGER 1954, GÄRDEFORS 1966), die der Ensiferen variieren von Art zu Art stärker; so gibt zum Beispiel NIELSEN (1938) für *Tettigonia viridissima* 18°C und JAKOVLEV (1961) für Imagines von *Gryllus campestris* 29 bis 33°C an. Bei direkter Bestrahlung steigt die Körpertemperatur sehr rasch. Nach Untersuchungen von STRELNIKOV (1936, in UVAROV 1966) an *Locusta*-Larven steigt die Körpertemperatur von zunächst beschatteten Tieren, deren Eigentemperatur der Lufttemperatur von 27,7°C entspricht, bei plötzlicher Bestrahlung innerhalb der ersten Minuten um 8,3°C

und ist nach etwa 10 Minuten um  $15,1^{\circ}\text{C}$  höher als die umgebende Lufttemperatur. Bei erneuter Beschattung sinkt die Körpertemperatur in weniger als 4 Minuten annähernd auf den Ausgangswert zurück. Durch verschiedene Ausrichtung der Körperachse zur Strahlungsrichtung kann die maximale Körpertemperatur um 2 bis  $10^{\circ}\text{C}$  reduziert werden (Zusammenstellung von UVAROV 1966).

Neben diesen Wirkungen auf den Temperaturhaushalt der Tiere und auf das Mikroklima der Areale übt der Faktor Strahlung auch einen Einfluß auf das Eistadium aus. PICKFORD (1966) wies an Untersuchungen an *Cannula pellucida* (SCUDDER) nach, daß die Lebensfähigkeit der Eier stark abhängig ist vom Ablagezeitpunkt. Jahreszeitlich früh abgelegte Eier vertrocknen häufig wegen zu langer Lagerung im trockenen Sommerboden, spät abgelegte Eier entwickeln sich besonders bei niedrigen Temperaturen während der Eiablagezeit nur selten. Sowohl zu hoher als auch zu geringer Strahlungsgenuß kann daher theoretisch die Bildung einer Population hemmen. Daneben beeinflusst die Temperatur die Dauer der Diapause, wobei sowohl die klimatischen Bedingungen bei der Eiablage als auch die während der Schlüpfphase bedeutend sind (MASAKI 1962, PICKFORD 1966). Gemeinsam mit der relativen Luftfeuchte wirkt die Temperatur auf die Dauer der Larvenentwicklung, wobei hohe Temperatur und niedrige relative Luftfeuchte die Entwicklung beschleunigen (HELFERT & SÄNGER 1975).

Am Beispiel der Populationen von Pholidoptera griseoptera - die Art besitzt im Untersuchungsgebiet den geringsten Strahlungsbedarf - und Metrioptera roeseli auf einer feucht-kühlen, windgeschützten Waldwiese im Mucher Wiesental, soll der Einfluß der Strahlung auf die Dispersion dargestellt werden (Abbildung 14). Abgesehen von der Strahlung besitzen die erfaßten Umweltfaktoren eine relative Konstanz auf der gesamten Fläche. Der Biotop wird zu etwa 80% von Baumbeständen (punktiert) umrandet. Besonders der im Süden an einem steilen Hang stehende hohe Fichtenwald nimmt starken Einfluß auf den Strahlungsge-

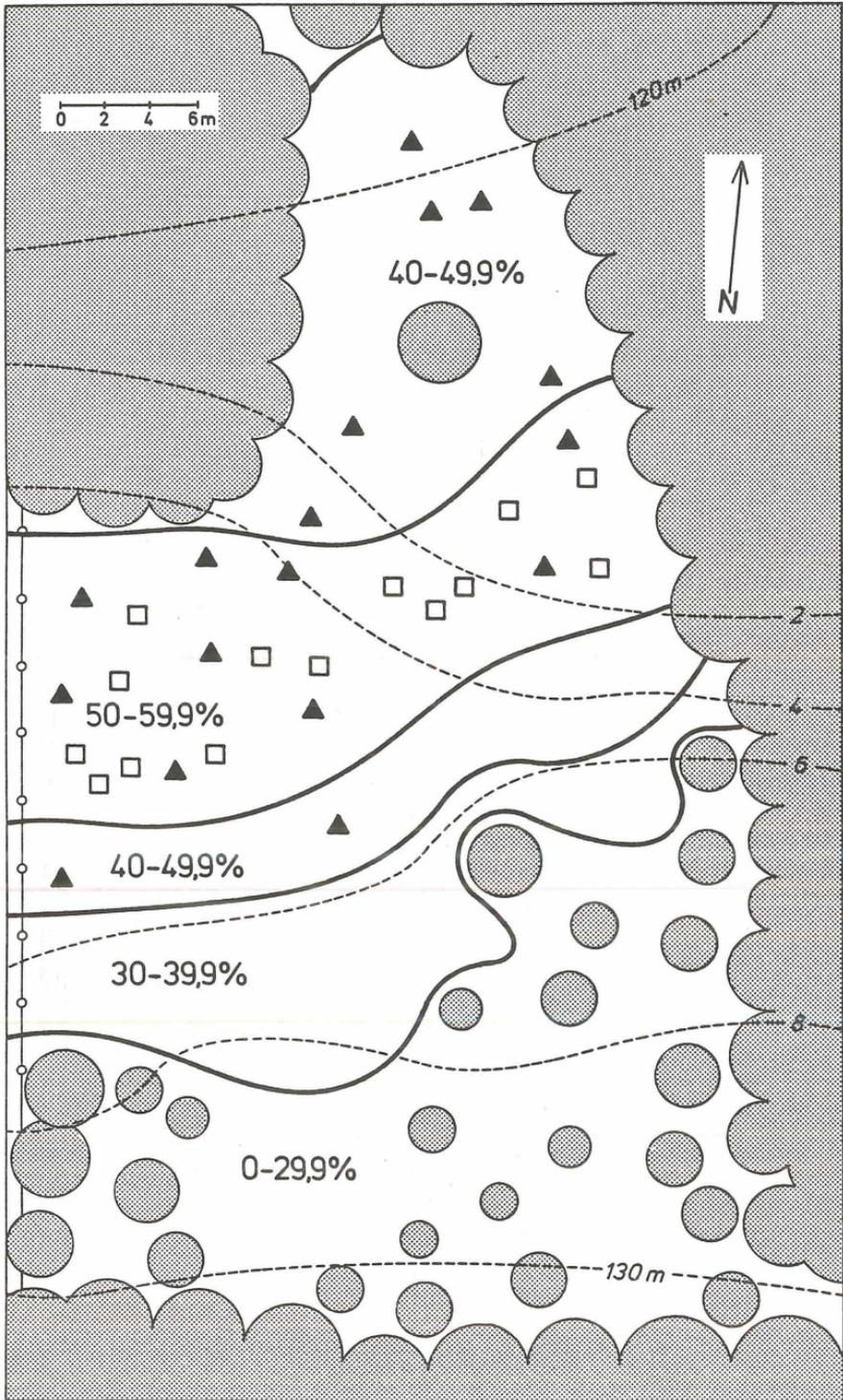


Abbildung 14: Die Verteilung von *Pholidoptera griseoptera* (▲) und *Metrioptera roeseli* (◻) in Abhängigkeit von der Sonnenstrahlung auf einer Waldwiese. Punktirt - Bäume, fette Linien - Grenzen der Strahlungsklassen, gestrichelte Linien - Höhenlinien.

nuß des Areals. Nach Westen schließt sich eine kleine Weide an. Eingetragen sind die Höhenlinien sowie die Grenzen der einzelnen Strahlungsklassen, die durch eine Vielzahl von Einzelmessungen nach der in Abschnitt 3.2.2. beschriebenen Methode gezogen wurden. Die ausgefüllten Dreiecke markieren die Fundorte von *Pholidoptera griseoptera*. Die meisten Tiere konnten in der Strahlungsklasse 50-59,9% nachgewiesen werden. In der nächst niedrigen Klasse nimmt die Dichte ab und in Bereichen mit weniger als 40%iger Strahlung sind keine Individuen mehr vorhanden. Der relativen Häufigkeitsverteilung in Abbildung 15 ist zu entnehmen, daß es sich dabei um keine feste untere Grenze handeln kann, da die Art unter anderen Bedingungen, das heißt bei anderer Kombination der Umweltfaktoren, durchaus noch in Bereichen mit 20-29,9%iger Strahlung leben kann. Das gleiche gilt auch für *Metrioptera roeseli* - jedem Fundort entspricht ein offenes Quadrat - deren Mindestbedarf an Sonnenstrahlung jedoch höher ist als der von *Pholidoptera* und die im vorgestellten Areal nur die strahlungsgünstigsten Bereiche besiedeln kann.

In Abbildung 15 sind die Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit vom Faktor Strahlung zusammengefaßt. Deutlich ist, daß für fast alle Arten, eine Ausnahme bildet *Pholidoptera griseoptera*, etwa bei 50% die untere Verbreitungsgrenze liegt. Biotope mit geringerem Genuß an Sonnenstrahlung werden nur in Ausnahmefällen besiedelt. Dagegen scheint nur für wenige Arten eine Verbreitungsgrenze im Bereich sehr hoher Strahlung vorzuliegen.

Folgende Arten lassen sich zu ökologischen Potenzgruppen zusammenfassen:

S t e n o p o t e n t e Arten

1. Polystenopotenten Arten - konnten nur in strahlungsreichen Arealen nachgewiesen werden.

*Metrioptera brachyptera*, *Metrioptera bicolor*,  
*Tetrix bipunctata*

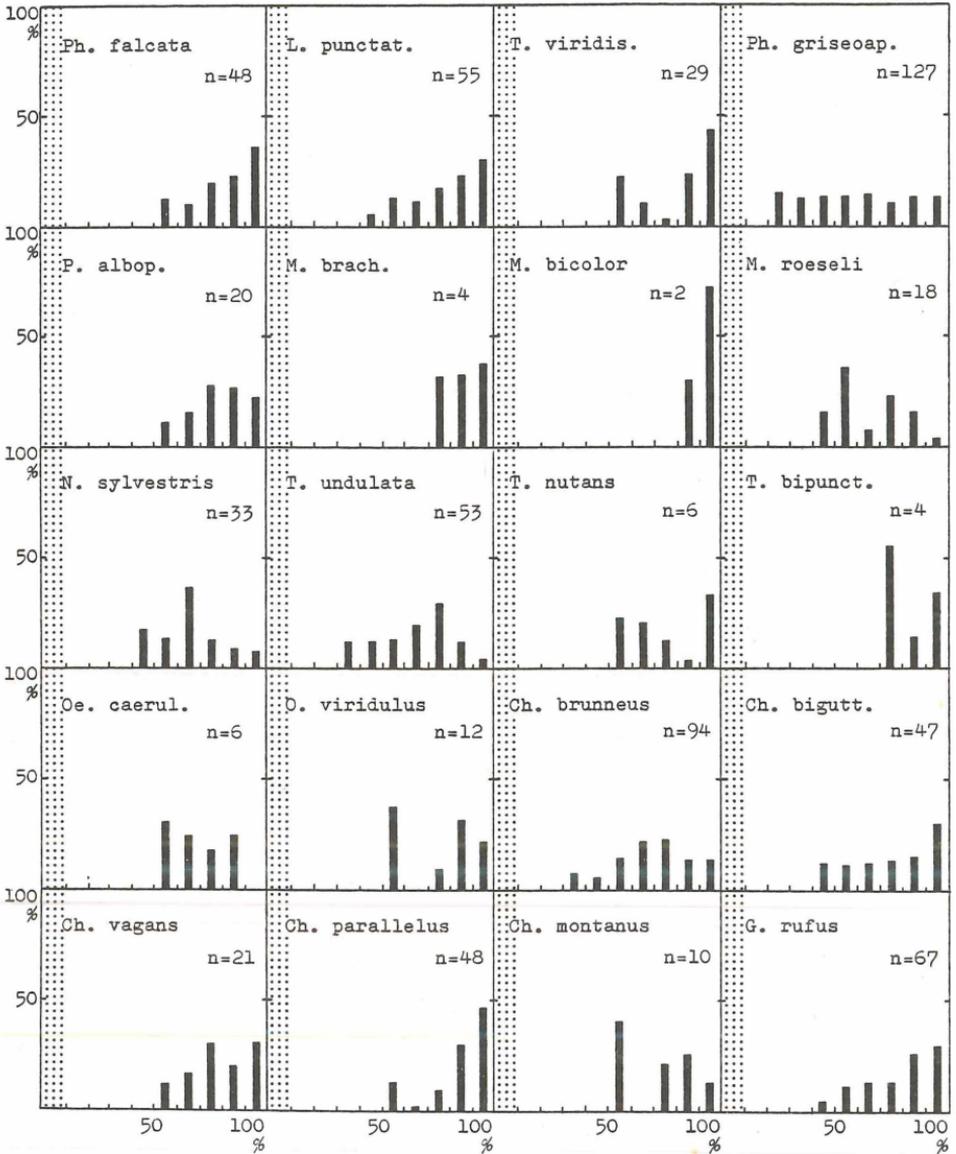


Abbildung 15: Sonnenstrahlung.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit vom Faktor Sonnenstrahlung (Insolation + diffuse Himmelsstrahlung). Punktiert - nicht besetzte Klasse.

2. Meso-Polystenopotente Arten - leben in Arealen mit mäßig hohem bis hohem Strahlungsgenuß.

Optimum im Poly-Bereich:

*Phaneroptera falcata*, *Leptophyes punctatissima*,  
*Tettigonia viridissima*, *Platycleis albopunctata*,  
*Tetrix nutans*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus vagans*, *Chorthippus parallelus*, *Gomphocerus rufus*

Optimum zum Meso-Bereich verschoben:

*Metrioptera roeseli*, *Nemobius sylvestris*, *Tetrix undulata*, *Oedipoda caerulescens*, *Omocestus viridulus*, *Chorthippus brunneus*, *Chorthippus montanus*

Optimum nicht erkennbar:

*Pholidoptera griseoptera*

E u r y p o t e n t e Arten

fehlen

### 7.3. Pflanzendeckung

Kraut- und Strauchschicht haben mehrfache Bedeutung für die Saltatorien. So dienen die Pflanzen vielen Arten als Nahrungssubstrat und Eiablageplatz, bieten Schutz vor zu intensiver Bestrahlung, Regen oder Wind, geben Deckung vor potentiellen Feinden und spielen eine Rolle beim typischen Fluchtverhalten der verschiedenen Spezies. Der Einfluß der Pflanzendecke auf das Mikroklima wurde in Abschnitt 4. beschrieben, zusammenfassend läßt sich sagen: hoher Pflanzendeckungsgrad hat eine ausgleichende Wirkung auf das Kleinklima, erhöht die relative Luftfeuchte, wirkt bei Insolation kühlend auf Boden und Luft durch die Vergrößerung der Strahlen aufnehmenden Oberfläche und durch den verstärkten Energieverlust bei der Tauverdunstung. Nach PÅHLSON (1974) beeinflußt bereits ein niedriger Moosbewuchs das Mikroklima in der beschriebenen Weise. Daneben

erhöht eine dichte Krautschicht die Wasseraufnahmekapazität der Bodenoberfläche.

Mit Ausnahme der beiden Extremfälle - keine beziehungsweise völlige Pflanzendeckung - können sich die Tiere im Biotop innerhalb der Vegetation oder auf dem nackten Boden aufhalten, was sowohl durch unterschiedliche Verhaltensmuster als auch durch unterschiedliche mikroklimatische Bedingungen auf kleinstem Raum gesteuert werden kann. Besonders vertikal verändert sich das Kleinklima vom Boden nach oben sehr rasch (vergleiche auch Abschnitt 4.). Die Pflanzendecke bietet den Tieren somit die Möglichkeit, innerhalb der oberen und unteren Grenzen des Mikroklimas eines Biotops, die vom Großklima, Regional- und den arealabhängigen Eigenschaften wie Strahlungsgenuß, Pflanzendeckungsgrad, Bodenfeuchte, Steingehalt an der Bodenoberfläche und Windoffenheit abhängig sind, ihnen zusagende Bereiche aufzusuchen. Diese Unterschiede innerhalb der einzelnen Areale werden nicht weiter berücksichtigt, da sie für die Biotopwahl nicht bestimmend sein können und in Abhängigkeit vom physiologischen Zustand der Tiere variieren. Eine vertikale Veränderung der Position in Abhängigkeit vom Mikroklima konnte häufig bei *Leptophyes punctatissima* beobachtet werden. Bekannt ist auch das Verhalten von *Tettigonia viridissima*, die, durch ihren Gesang lokalisierbar, nachts den rasch sinkenden Temperaturen in Bodennähe ausweicht und bis in die Baumkronen steigt (NIELSEN 1938). Im Vergleich zu den Häufigkeitsverteilungen in Abhängigkeit vom Faktor Strahlung zeigen sich bei den Verteilungen im Spektrum des Faktors Pflanzendeckung wesentlich größere Unterschiede zwischen den Arten (Abbildung 16). Folgende ökologische Potenzgruppen lassen sich zusammenfassen:

**S t e n o p o t e n t e** Arten

1. Polystenopotente Arten - konnten nur in Arealen mit sehr dichter Krautschicht nachgewiesen werden.

*Metrioptera brachyptera*, *Metrioptera bicolor*,  
*Metrioptera roeseli*, *Omocestus viridulus*, Chort-

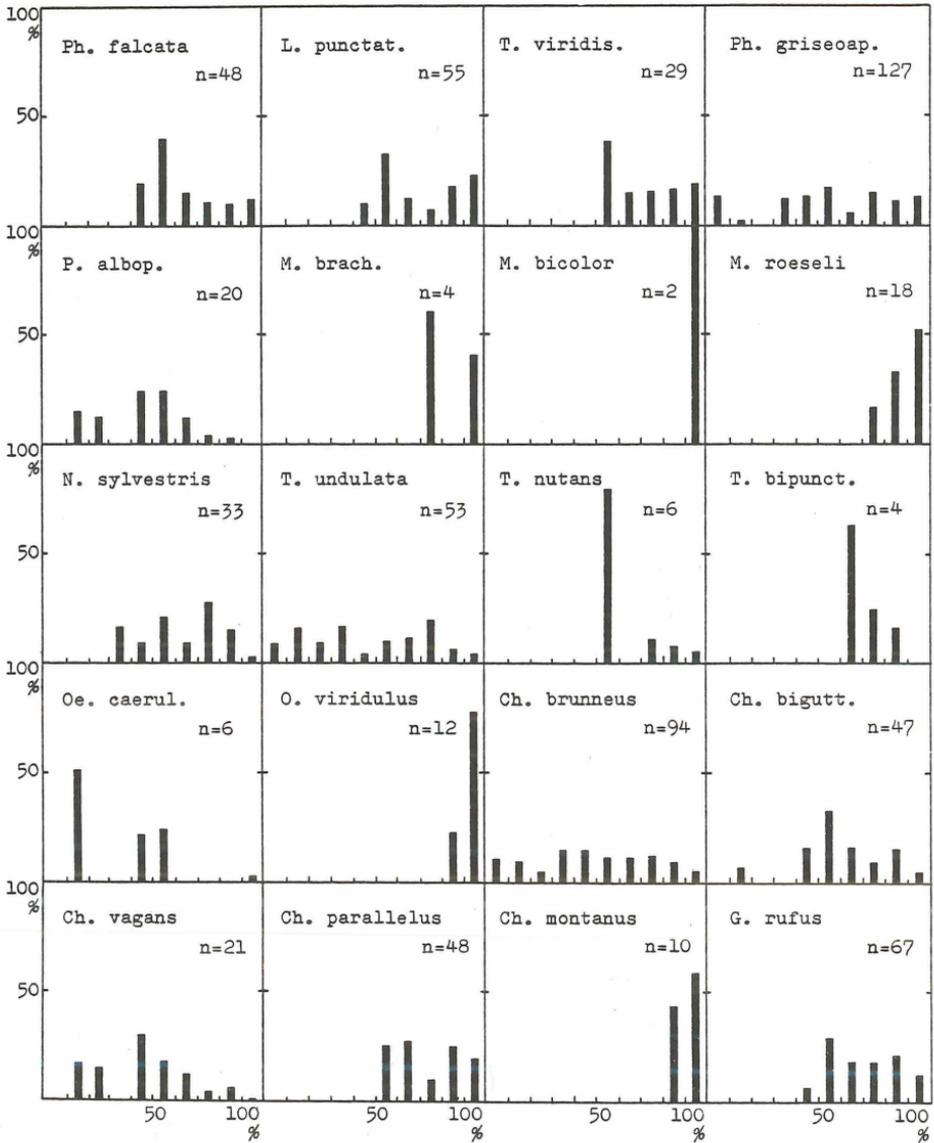


Abbildung 16: Pflanzendeckung.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen  
der Arten in Abhängigkeit vom Faktor Pflan-  
zendeckung.

hippus montanus

2. Meso-Polystenopotente Arten - leben in Arealen mit mäßig hohem bis hohem Pflanzendeckungsgrad.

Optimum im Poly-Bereich:

*Nemobius sylvestris*

Optimum im Meso-Bereich:

*Phaneroptera falcata*, *Leptophyes punctatissima*,  
*Tettigonia viridissima*, *Tetrix nutans*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus parallelus*, *Gomphoceru rufus*

3. Oligo-Mesostenopotente Arten - leben in Arealen mit geringem bis mäßig hohem Pflanzendeckungsgrad.

Optimum im Oligo-Bereich:

*Oedipoda caerulea*

E u r y p o t e n t e Arten

4. Mesoeurypotente Arten - können in allen Pflanzendekungsklassen leben, das Optimum ihrer Verteilung liegt im Bereich mäßig hoher Pflanzendeckung.

*Platycleis albopunctata*, *Chorthippus vagans*

5. Eurypotente Arten - ohne erkennbares Optimum.

*Pholidoptera griseoaptera*, *Tetrix undulata*,  
*Chorthippus brunneus*

#### 7.4. Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte eines Areals wird durch mehrere Größen bestimmt. Wesentlich sind der Niederschlagsreichtum des Gebietes, die jeweilige Lage der Untersuchungsfläche - wobei Tallagen oder unmittelbare Nähe zu Wasserläufen und Quellen meist hohe Bodenfeuchte bedingen - sowie das Untergrundgestein, das Bodengefüge und die Krautschicht, durch die der Wasserhaushalt des Bodens mit Abflußgeschwindigkeit und Wasserkapazität bestimmt wird. Da viele Arten ihre Eier in den Boden ablegen, nimmt der Faktor einen direkten Einfluß auf die Populationen. Es wurde bereits auf die

Gefahr der Austrocknung nach der Ablage der Gelege im Spätsommer und Herbst hingewiesen (PICKFORD 1966). Nach Untersuchungen von MORIARTY (1969) an Eiern von *Chorthippus brunneus* ist zwar eine Wasserabsorption vor der Diapause nicht notwendig, die weitere Entwicklung im Frühjahr beginnend mit der Blastokinese ist jedoch auf vorherige Absorption angewiesen. Nach KENNEDY (1949) ist die Wahl des Eiablageplatzes bei Weibchen der Übergangsphase (Phasa transiens) von *Locusta migratoria migratorioides* R.&F. hauptsächlich abhängig von der Beschaffenheit des Bodens und von der Bodenfeuchte. KHALIFA (1956) wies bei Untersuchungen an ägyptischen Acrididen drei Gruppen nach: 1. Arten, die ihre Eier in trockenen, 2. in feuchten und 3. sowohl in feuchten als auch in trockenen Boden ablegen. Nach Laborarbeiten von CHOUDHURI (1958) in England bevorzugt *Chorthippus parallelus* feuchteren Sand zur Eiablage als *Chorthippus brunneus*. Dagegen ist Abbildung 17 zu entnehmen, daß im hiesigen Untersuchungsgebiet *Chorthippus brunneus* nahezu eurypotent, *Chorthippus parallelus* jedoch etwa oligo-mesostenopotent bezüglich des Faktors Bodenfeuchte ist. Unter der Voraussetzung, daß die Arten bei natürlichen Eiablagesubstraten - Sand gehört im Untersuchungsgebiet nicht dazu - gleiches Verhalten wie im Labortest zeigen, was keineswegs sicher ist, gibt es zwei mögliche Erklärungen für die offensichtlich unterschiedlichen Ergebnisse: 1. es liegt eine Verschiebung der ökologischen Potenzen vor und 2. das Eiablageverhalten spielt für die Verteilung im Gelände eine untergeordnete Rolle. Dieses Problem muß vorerst ungelöst bleiben.

Der Einfluß der Bodenfeuchte auf das Mikroklima ist groß (vergleiche Abschnitt 4. sowie GEIGER 1961, §§ 21 u.a.). Hohe Bodenfeuchte wirkt ausgleichend auf Boden- und Lufttemperaturen. Der feuchte Boden erwärmt sich, bedingt durch die größere Wärmekapazität, langsamer als ein trockener und hält die einmal aufgenommene Wärme länger. Ein wesentlicher Teil der zugeführten Strahlungsenergie wird außerdem an feuchter Bodenoberfläche bei der Verdunstung

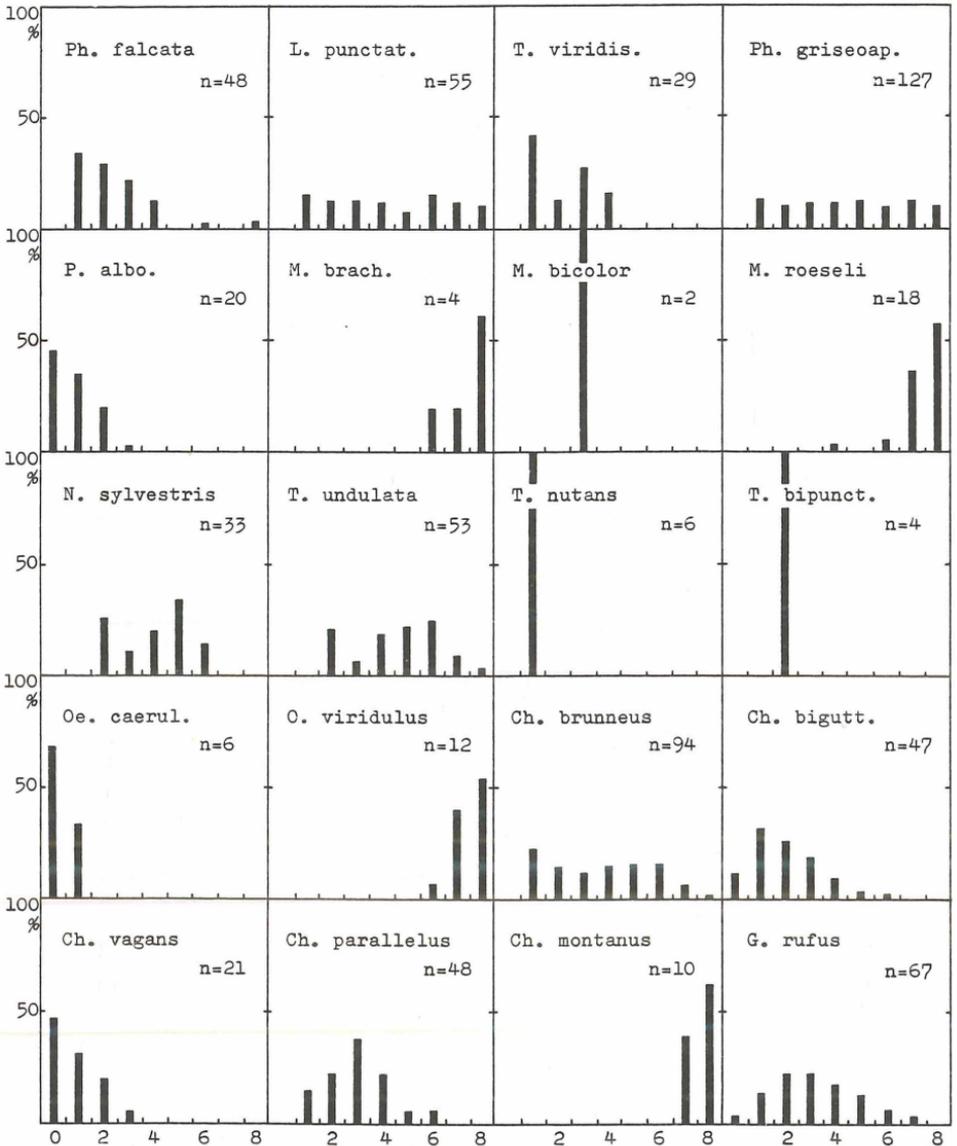


Abbildung 17: Bodenfeuchte.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit von der relativen Bodenfeuchte. Mit 0 bis 8 sind die Intensitätsklassen bezeichnet, wobei den Extremen: extrem trocken = 0 und sehr feucht = 8 entspricht.

verbraucht (vergleiche Abschnitt 4.). Da die relative Luftfeuchte der bodennahen Schicht hoch mit der Bodenfeuchte korreliert ist, ist damit zu rechnen, daß die Verbreitung der Saltatorien nachhaltig durch diesen Faktor beeinflußt wird. Auf die Bedeutung der Luftfeuchte wurde bereits einleitend hingewiesen. JAKOVLEV (1956) stellte fest, daß die Transpiration der Acrididen auf die relative Luftfeuchtigkeit ihrer Biotope eingestellt ist, da die optimale Transpiration nur innerhalb bestimmter Luftfeuchtigkeitsgrenzen verwirklicht werden kann. Nach Untersuchungen von KALTENBACH (1963) ist die Verbreitung der Orthopteren im pannonischen Raum Österreichs durch die Milieufeuchtigkeit der Areale bedingt. Die in Abbildung 17 dargestellten "wahren" relativen Häufigkeitsverteilungen der bearbeiteten Arten in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte unterstreichen die besondere Bedeutung dieses Faktors.

Folgende Arten lassen sich zu ökologischen Potenzgruppen zusammenfassen:

S t e n o p o t e n t e Arten

1. Polystenopotente Arten - konnten nur in Arealen mit hoher Bodenfeuchte nachgewiesen werden.

*Metrioptera brachyptera*, *Metrioptera roeseli*,  
*Omocestus viridulus*, *Chorthippus montanus*

2. Meso-Polystenopotente Arten - leben auf mäßig feuchten bis nassen Böden.

*Tetrix undulata*

3. Mesostenopotente Arten - meiden zu trockene und zu feuchte Areale.

*Nemobius sylvestris*

4. Oligo-Mesostenopotente Arten - nur auf trockenen bis mäßig feuchten Böden.

*Chorthippus parallelus*, *Metrioptera bicolor*  
Optimum im Oligo-Bereich:

*Phaneroptera falcata*, *Tettigonia viridissima*,  
*Chorthippus biguttulus*

5. Oligostenopotente Arten - leben ausschließlich auf

sehr trockenen Böden.

*Platycleis albopunctata*, *Tetrix nutans*, *Tetrix bipunctata*, *Oedipoda caerulescens*, *Chorthippus vagans*

E u r y p o t e n t e Arten

6. Mesoeurypotente Arten - Optimum etwa im Bereich mittlerer Bodenfeuchte.

*Gomphocerus rufus*

7. Eurypotente Arten - ohne erkennbares Optimum.

*Leptophyes punctatissima*, *Pholidoptera griseoptera*, *Chorthippus brunneus*

#### 7.5. Steingehalt an der Bodenoberfläche

Hohe Steingehalte treten in der Regel auf noch jungen A-C Böden auf. Im Siebengebirge sind sie auf unterschiedlichen Gesteinen wie Basalt, Andesit, Trachyt, Trachyttuff oder unterdevonischem Material zu finden und konzentrieren sich auf die ehemaligen Steinbrüche und Bergkuppen; am Rodderberg liegen sie in Bereichen der Schlacken und Aschen vulkanischen Ursprungs.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Struktur der obersten Bodenschicht die Wahl des Eiablageplatzes der bodenablegenden Arten beeinflussen kann (Abschnitt 7.4.). Für die Verbreitung der Arten wichtiger erscheint jedoch der Einfluß, den ein hoher Steingehalt an der Bodenoberfläche auf das Mikroklima ausübt (vergleiche Abschnitt 4. sowie GEIGER 1961, §32). In der Pflanzen- und Tiergeographie gibt es viele Beispiele dafür, daß sich auf flachgründigen, steinigen Böden an südexponierten Hängen mit starker Sonneneinstrahlung Pflanzen- und Tiergesellschaften finden, die erst in wärmeren und regenärmeren Gebieten ihre eigentliche Verbreitung haben. So kommen die xerothermophilen Saltatorien des Untersuchungsraumes fast ausnahmslos in Arealen mit hohem Steingehalt vor. Zurück-

zuführen ist die Bedeutung des Faktors auf die bei Inso-  
lation auftretenden hohen Oberflächentemperaturen und  
die gute Wärmespeicherung von steinigem und felsigen Bo-  
denoberflächen. Die Analyse der Gesamtheit der bearbei-  
teten Areale ergab eine hohe negative Korrelation zwi-  
schen den Faktoren Bodenfeuchte (3) und Steingehalt an  
der Bodenoberfläche (4),  $r_{(3)(4)} = -0,634$ , die zurückzu-  
führen ist auf die geringe Wasserkapazität eines sehr  
steinigen Untergrundes: Niederschlagswasser sinkt schnell  
ein und die Oberfläche trocknet besonders auf strahlungs-  
reichen und windoffenen Flächen schnell ab, da eine Was-  
sernachführung aus dem Boden unterbleibt.

In Abbildung 18 sind die "wahren" relativen Häufigkeits-  
verteilungen der Arten in Abhängigkeit vom Steingehalt  
an der Bodenoberfläche zusammengefaßt. Im Gegensatz zu  
den bislang abgehandelten Umweltfaktoren ist in Bezug auf  
den Steingehalt ein großer Teil der Arten eurypotent,  
während die anderen ausgeprägte Vorzugsbereiche im Poly-  
oder Oligo-Bereich besitzen.

S t e n o p o t e n t e Arten

1. Polystenopotente Arten - nur auf sehr steinigem Un-  
tergrund.

*Platycleis albopunctata*, *Tetrix nutans*, *Tetrix*  
*bipunctata*, *Oedipoda caerulescens*, *Chorthippus*  
*vagans*

2. Oligostenopotente Arten - meiden steinige Bodenober-  
flächen.

*Metrioptera brachyptera*, *Metrioptera bicolor*,  
*Metrioptera roeseli*, *Omocestus viridulus*, *Chort-*  
*hippus montanus*

E u r y p o t e n t e Arten

3. Polyeurypotente Arten - in allen Faktorenklassen vor-  
handen, mit Optimum im Poly-Bereich.

*Phaneroptera falcata*, *Tettigonia viridissima*, *Ne-*  
*mobius sylvestris*, *Chorthippus biguttulus*

4. Mesoeurypotente Arten - in allen Faktorenklassen vor-  
handen, mit Optimum im Meso-Bereich.

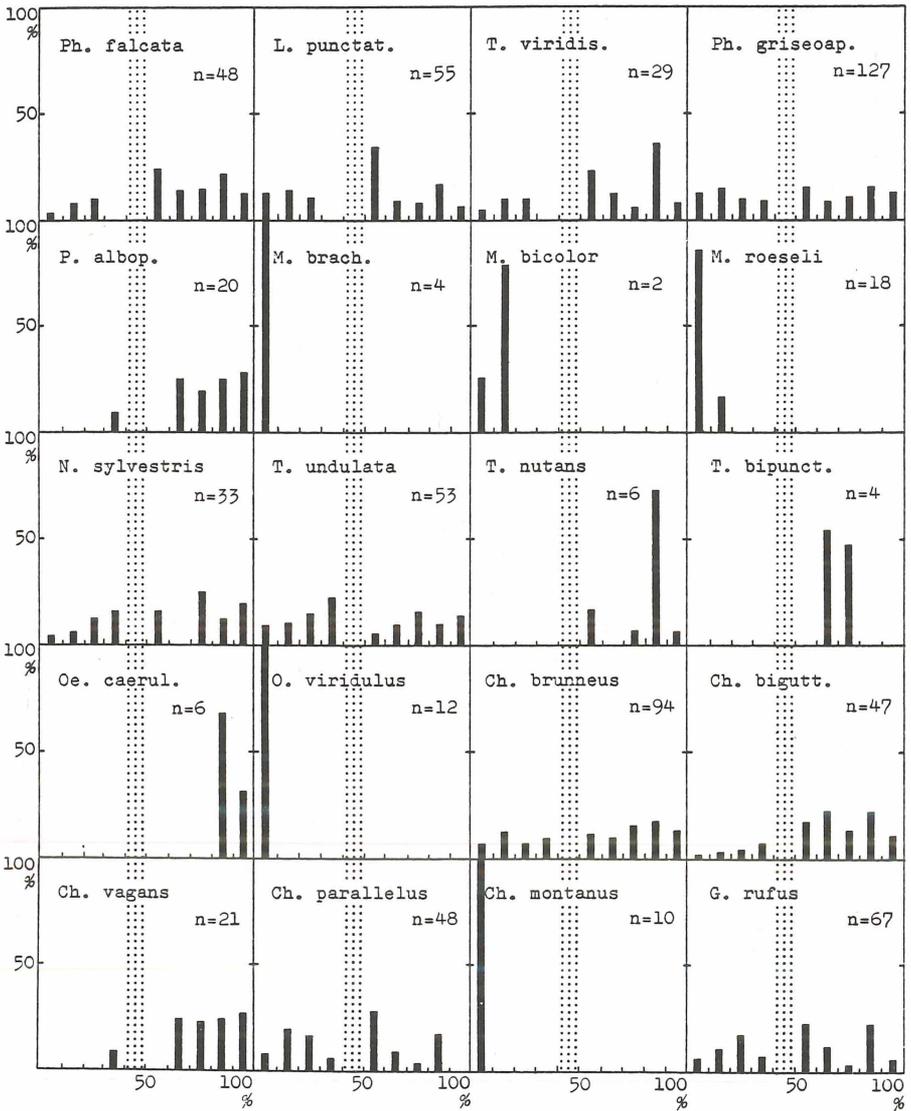


Abbildung 18: Steingehalt an der Bodenoberfläche.  
"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen  
der Arten in Abhängigkeit vom Faktor  
Steingehalt an der Bodenoberfläche. Punk-  
tiert - nicht besetzte Klasse.

*Leptophyes punctatissima*, *Chorthippus parallelus*

5. Eurypotente Arten - ohne erkennbares Optimum.

*Pholidoptera griseoptera*, *Tetrix undulata*, *Chorthippus brunneus*, *Gomphocerus rufus*

## 7.6. Windoffenheit

Die Windoffenheit bestimmt zusammen mit der Oberflächenstruktur des Areal die Windgeschwindigkeiten in den unteren Luftschichten. In dichter Vegetation beträgt die Luftbewegung meist nicht mehr als 0,1 m/s. Bei zahlreichen Acrididen konnten Luftströmungssinnesorgane nachgewiesen werden, die Einfluß auf Richtung und Geschwindigkeit der Fortbewegung der Tiere nehmen (CAMHI 1969, I, II, III, GEWECKE 1975). Einen direkten Einfluß auf die Verteilung der Individuen konnten RIEGERT, FULLER & PUTNAM (1954) bei Untersuchungen an radioaktiv markierten Larven und Imagines von *Camnula pellucida* (SCUDD.) und *Melanoplus m. mexicanus* (SAUSS.) nachweisen: junge Larven und Imagines bewegten sich mit dem Wind, ältere Larven jedoch gegen den Wind; bei Geschwindigkeiten von mehr als 4,5 m/s waren die Tiere inaktiv und suchten Schutz. Windgeschwindigkeit und Körperstellung zur Windrichtung haben großen Einfluß auf die Körpertemperatur (STRELNIKOV 1936, DIGBY 1955, zitiert nach UVAROV 1966). So konnten bei Temperaturmessungen in Abhängigkeit von verschiedenen Windgeschwindigkeiten zwischen ca. 5 m/s und 0,1 m/s Unterschiede von mehr als 10°C festgestellt werden. Für das Mikroklima sind die Wirkungen der unterschiedlichen Windbewegungen vielschichtig (vergleiche hierzu Abschnitt 4. sowie GEIGER 1961, §§ 16, 30 und die Korrelationsmatrix in Abbildung 13). Zusammenfassend läßt sich sagen, daß starke Luftbewegung bei Insolation kühlend auf die Temperatur der bodennahen Luftschicht wirkt, da die warmen unteren Schichten durchmischt werden mit den kühleren aus höheren Bereichen. Nachts bedingt eine

windoffene Lage eine Temperaturerhöhung der unteren Schichten, da durch die Zuführung von wärmerer Luft die Abkühlung in Bodennähe durch die langwellige Wärmeabstrahlung gemindert wird und Kaltluftstaus verhindert werden (GEIGER 1961, §§ 42, 43). Das kann besonders im Spätsommer für nachtfrostempfindliche Arten von großer Bedeutung sein. Über schütter bewachsenen Flächen wirkt sich die Windbewegung erhöhend auf die relative Luftfeuchte aus, da kühlere, feuchtere Luft zugeführt wird. In Arealen mit dichter Krautschicht senkt sie dagegen die zwischen den transpirierenden Pflanzenteilen bestehende hohe Luftfeuchte. Windbewegungen wirken steigernd auf Evaporation und Transpiration, wodurch die Bodenfeuchte gesenkt wird.

Diese direkten und indirekten Wirkungen lassen erwarten, daß auch die Windoffenheit der Areale zu den wichtigen Einflußgrößen gehört, die die Verbreitung der Saltatorien im Untersuchungsraum mitbestimmen. Abbildung 19 zeigt die "wahren" relativen Häufigkeitsverteilungen der Arten in Bezug auf den Faktor Windoffenheit. Die meist stenotopen Verteilungen unterstreichen die Bedeutung des Faktors. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß die Verteilungen überlagert werden durch den hohen Strahlungsbedarf der meisten Arten; auf die hohe Korrelation zwischen Strahlung und Windoffenheit wurde bereits in Abschnitt 7.1. hingewiesen. Folgende Arten mit ähnlicher ökologischer Potenz lassen sich zu Gruppen zusammenfassen:

**S t e n o p o t e n t e** Arten

1. Polystenopotente Arten - leben in windoffenen Biotopen.

*Metrioptera bicolor*, *Tetrix nutans*, *Oedipoda caerulea*

2. Meso-Polystenopotente Arten - ziehen mäßig bis stark windoffene Areale vor.

Optimum im Poly-Bereich:

*Phaneroptera falcata*, *Tettigonia viridissima*, *Pla-*

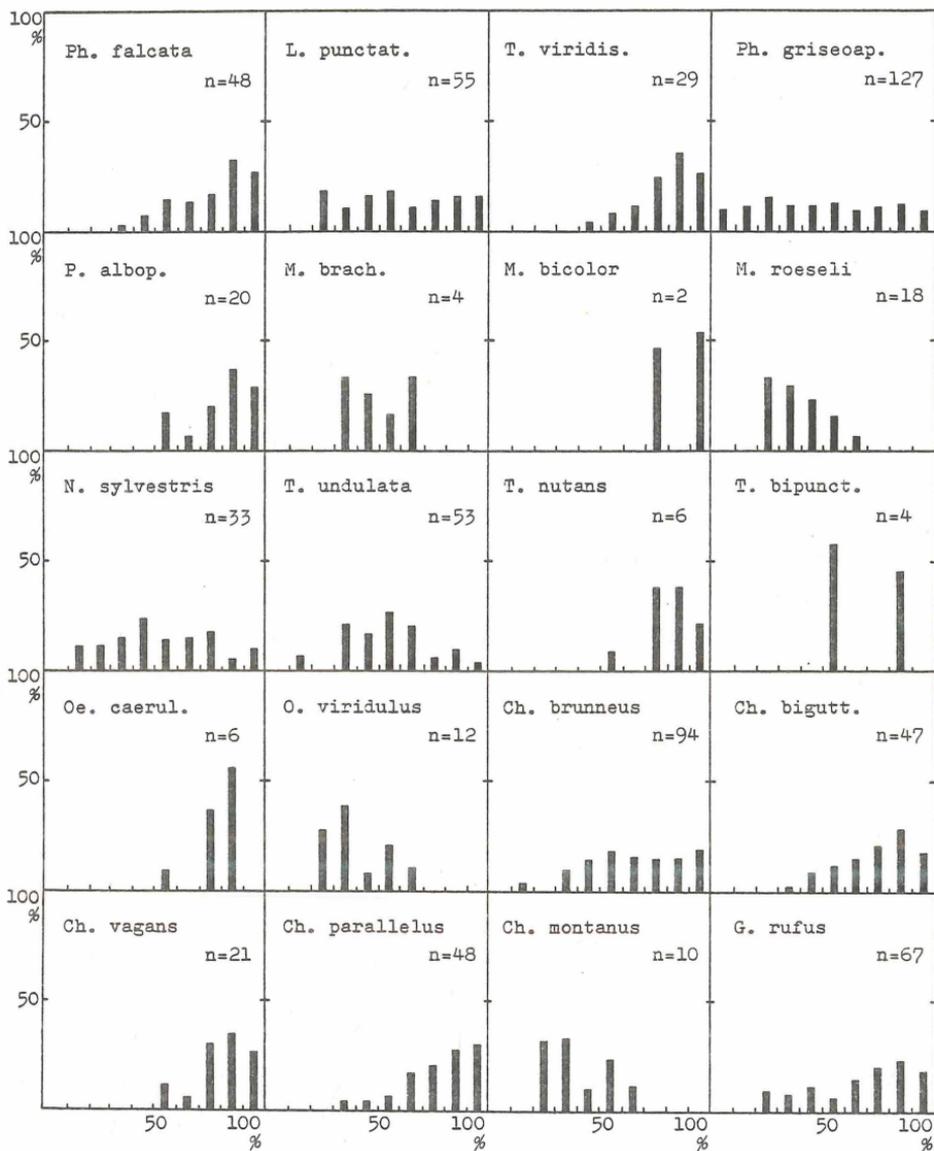


Abbildung 19: Windoffenheit.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit vom Faktor Windoffenheit.

*tycleis albopunctata*, *Chorthippus biguttulus*,  
*Chorthippus vagans*, *Chorthippus parallelus*, *Gom-  
phocerus rufus*

Optimum im Meso-Bereich:

*Tetrix undulata*, *Tetrix bipunctata*

Optimum nicht ausgeprägt:

*Leptophyes punctatissima*, *Chorthippus brunneus*

3. Mesostenopotente Arten - nur in mäßig windoffenen Biotopen. Für diese Arten darf angenommen werden, daß sie den Oligo-Bereich wegen der damit verbundenen geringen Einstrahlungsenergie meiden.

*Metrioptera brachyptera*, *Metrioptera roeseli*,  
*Omocestus viridulus*, *Chorthippus montanus*

E u r y p o t e n t e Arten

4. Mesoeurypotente Arten - treten sowohl in sehr windarmen als auch in stark windigen Arealen auf, besitzen jedoch ein Optimum im Meso-Bereich.

*Nemobius sylvestris*

5. Eurypotente Arten - ohne ausgeprägtes Optimum.

*Pholidoptera griseoptera*

## 7.7. Nächtliche Abkühlung

Der Grad der Abkühlung in der unteren Luftschicht ist von vielen Faktoren abhängig, auf die teilweise in den Abschnitten 4. und 7.2. bis 7.6. eingegangen worden ist. Im wesentlichen sind die abendliche Ausgangstemperatur von Luft und Boden, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens, die Bodenbedeckung, die Windoffenheit, die Lage des Areals - zum Beispiel Tal-, Hang- oder Muldenlage - sowie Horizonteinengungen und Bewölkungsgrad zu nennen. Letztere beeinflussen die nächtliche Strahlungsbilanz wesentlich, indem sie die Stärke der langwelligen Gegenstrahlung bestimmen (die komplexen Zusammenhänge sind ausführlich bei GEIGER 1961, §§ 5, 14, 42 dargestellt).

Die Bedeutung des Faktors ist im Frühjahr sowie im Spätsommer und Herbst besonders groß, da die Larven allgemein empfindlich gegen Nachtfröste sind und außerdem die Fähigkeit der Imagines, Temperaturen von wesentlich weniger als  $0^{\circ}\text{C}$  zu ertragen, unterschiedlich ausgeprägt ist. Die wärmeliebende *Oedipoda caerulescens* zum Beispiel gehört zu den besonders nachtfrostgefährdeten Arten (HARZ 1957). Von den heimischen Saltatorien liegen keine exakten Daten über die unterschiedliche Kälteempfindlichkeit vor. UVAROV (1966) faßt die bislang vorliegenden Untersuchungen an Acrididen zusammen. Die kritischen Grenzen liegen unterschiedlich von Art zu Art in Abhängigkeit von der Dauer, die die Tiere den Versuchsbedingungen ausgesetzt sind, etwa zwischen  $-2^{\circ}\text{C}$  und  $-15^{\circ}\text{C}$ . Die Daten sind nicht direkt miteinander vergleichbar, doch zeigt sich, daß Arten, die in warmen Regionen ihre Hauptverbreitung haben, schon bei geringerer Kälte absterben als solche, die hauptsächlich in kühleren Gebieten vorkommen.

Bei Messungen, die Abbildung 20 zugrunde liegen, wurden Temperaturunterschiede von  $7,2^{\circ}\text{C}$  zwischen den wärmsten und kältesten Arealen festgestellt. Die große Spanne läßt erwarten, daß der Faktor Nächtliche Abkühlung für empfindliche Arten im Untersuchungsgebiet lokal eine Verbreitungsbarriere darstellen kann, wenn die Populationsdichte durch eine extreme Mortalität der Larven und frühes Absterben der Imagines, wodurch die Zahl der Eigelege je Weibchen stark reduziert wird, unter eine für das Populationswachstum notwendige Individuenzahl sinkt. Auf Grund der hohen Korrelationen mit Bodenfeuchte, Steingehalt und Windoffenheit darf nicht direkt von einer stenotopen Verteilung auf Abhängigkeiten vom Faktor Nächtliche Abkühlung geschlossen werden. Es kann jedoch sicher angenommen werden, daß für diejenigen Arten, die auch in den kühleren Arealen nachgewiesen wurden, die nächtlichen Temperaturunterschiede im Untersuchungsgebiet keine verbreitungshemmende Bedeutung haben. Folgende ökologische Potenzgruppen sind zu erkennen:

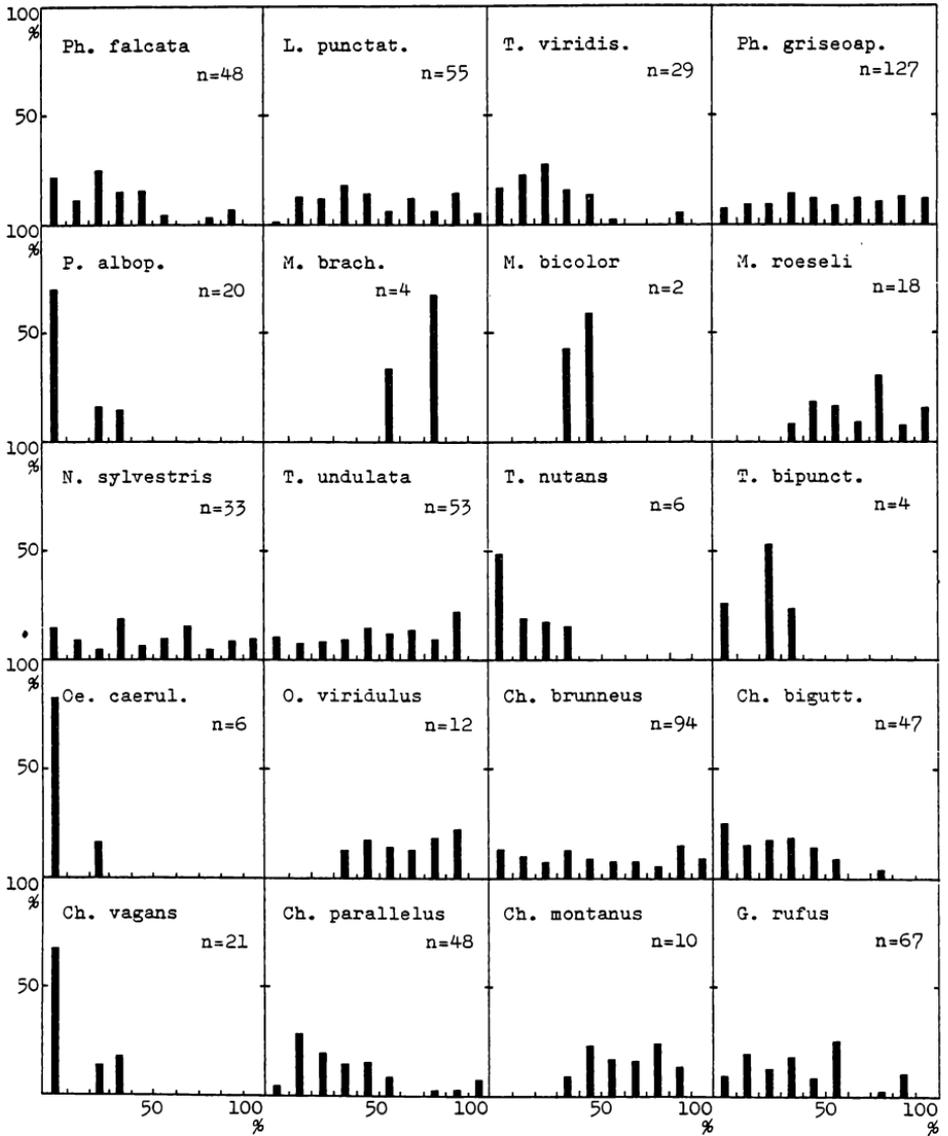


Abbildung 20: Nächtliche Abkühlung.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit von der unterschiedlichen relativen nächtlichen Abkühlung in den Untersuchungsarealen, wobei 0 bis 100% einer Temperaturdifferenz von  $7,2^{\circ}\text{C}$  entspricht. Die Temperatur des wärmsten Areals wurde als 0%ige, die des kältesten als 100%ige relative nächtliche Abkühlung festgesetzt.

Stenopotente Arten

1. Meso-Polystenopotente Arten - kälteunempfindliche Arten, nur in Arealen mit starker bis mäßig starker nächtlicher Abkühlung.

Metrioptera brachyptera, Metrioptera roeseli,  
Omocestus viridulus, Chorthippus montanus

2. Mesostenopotente Arten - nur im Bereich mäßig starker nächtlicher Abkühlung.

Metrioptera bicolor

3. Oligostenopotente Arten - ihre stenotope Verteilung in den Arealen mit der geringsten nächtlichen Abkühlung kann als Hinweis auf eine eventuelle Kälteempfindlichkeit angesehen werden.

Platycleis albopunctata, Tetrix nutans, Tetrix bipunctata, Oedipoda caerulescens, Chorthippus vagans

Eurypotente Arten

4. Mesoeurypotente Arten - Optimum im Bereich mäßig starker nächtlicher Abkühlung.

Gomphocerus rufus

5. Oligoeurypotente Arten - Optimum im Bereich geringer nächtlicher Abkühlung.

Phaneroptera falcata, Tettigonia viridissima,  
Chorthippus biguttulus, Chorthippus parallelus

6. Eurypotente Arten - ohne erkennbares Optimum.

Leptophyes punctatissima, Pholidoptera griseoptera, Nemobius sylvestris, Tetrix undulata, Chorthippus brunneus

7.8. Wasserstoffionenkonzentration - pH-(KCl)-Wert

Die Eiablage der Saltatorien erfolgt unterschiedlich von Art zu Art in den Boden, an die Bodenoberfläche, an die Basis von Grasblättern, in Pflanzenteile oder zwischen Rindenritzen (WALOFF 1950, HARZ 1957). ZIMIN (1938, zi-

tiert nach WALOFF 1950) unterscheidet nach ihrer Eiablage drei Acrididengruppen: 1. hygrophile Arten, Eiablage in der Vegetation direkt über der Bodenoberfläche, 2. als mesophil bezeichnete Arten, Eiablage in die obersten Schichten des Bodens und 3. xerophile Arten, Eiablage mehrere Zentimeter tief in den Boden. Eine umfassende Untersuchung über das Eiablageverhalten der bearbeiteten Saltatorien liegt nicht vor und die aus der Literatur bekannten Daten sind widersprüchlich. So legt nach WALOFF (1950) und CHOUDHURI (1958) *Chorthippus parallelus* die Gelege in den Boden ab, während HELFERT & SÄNGER (1975) "Gräser und ähnliche Strukturen" angeben. Nach eigenen Beobachtungen entspricht das Verhalten im Untersuchungsgebiet dem von WALOFF und CHOUDHURI beschriebenen, so daß sie zu den Arten gerechnet wird, für die eine regelmäßige Ablage in den Boden als gesichert angesehen wird. Das sind *Tettigonia viridissima*, *Metrioptera brachyptera*, *Nemobius sylvestris*, *Oedipoda caerulea*, *Chorthippus brunneus*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus vagans* und *Gomphocerus rufus*. Andere legen wenigstens fakultativ die Eier in den Boden, wie *Pholidoptera griseoaptera*. Es muß daher geprüft werden, ob die Verbreitung der Arten im Gebiet durch die Wasserstoffionenkonzentration im Boden mit beeinflußt wird. Insbesondere in stark sauren Böden ist eine Hemmung der Eientwicklung naheliegend. Nach Untersuchungen von CHOUDHURI (1958) zur Wahl der Eiablageplätze von *Chorthippus brunneus* und *Chorthippus parallelus* in Sand mit den pH-Werten 4,4, 5,4, 6,8, 7,8 und 8,0<sup>1)</sup> wurden in den Sand mit pH 4,4 keine Eier abgelegt, während sich die Tiere den anderen pH-Bereichen gegenüber nicht unterschiedlich verhielten.

Eine Beurteilung der in Abbildung 21 zusammengefaßten Häufigkeitsverteilungen ist sehr schwierig und nur unter der

1) Die pH-Werte sind nicht direkt mit den von mir ermittelten pH-(KCl)-Werten vergleichbar, da sie mit einem Bariumsulfat-Indikator bestimmt wurden.

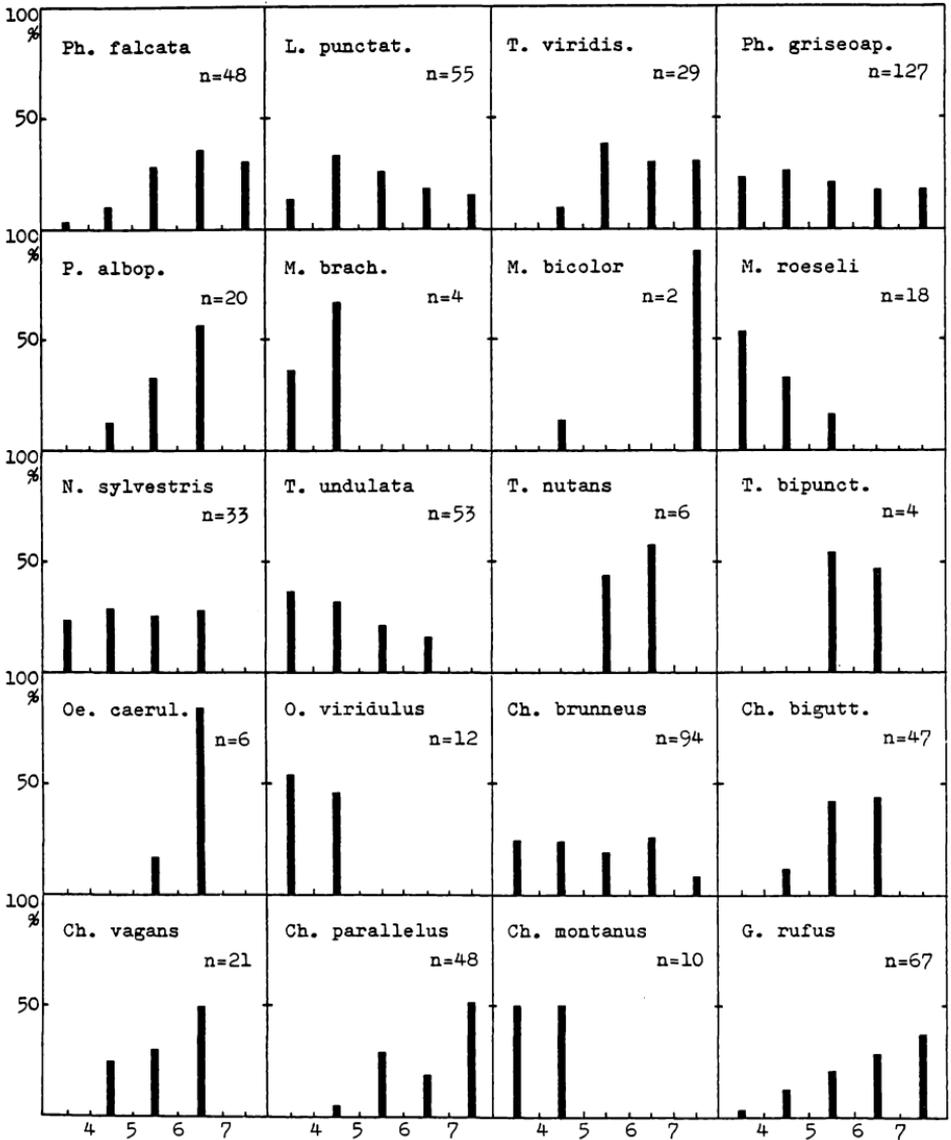


Abbildung 21: Wasserstoffionenkonzentration - pH-(KCl)-Wert.

"Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit vom pH-Wert der Böden.

Berücksichtigung des Eiablageverhaltens der Arten sowie mit Hilfe der in Abschnitt 7.9. zu behandelnden Abhängigkeiten von der Höhenlage und den für jede Art gegebenen Korrelationskoeffizienten zwischen pH-Wert und den weiteren Faktoren möglich (siehe Abbildungen I bis XX im Anhang). Da eine allgemeine Zuordnung zu ökologischen Potenzgruppen unter den gegebenen Bedingungen wenig sinnvoll ist, soll darauf verzichtet werden; statt dessen werden nur einige Verteilungen diskutiert. Die Häufigkeitsverteilung von *Metrioptera roeseli* mit einem deutlichen Optimum im stark sauren Bereich darf zum Beispiel nicht als Bindung an dieses Milieu gewertet werden, da die Art ihre Eier in Pflanzenstengel ablegt (HARZ 1957). Vielmehr bevorzugt sie die Milieufeuchtigkeit und den hohen Pflanzendeckungsgrad der bodensauren *Molinia-coerulea*-Wiesen. Auf ähnliche Beziehungen lassen sich die Verteilungen von *Phaneroptera falcata*, *Leptophyes punctatissima*, *Platycleis albopunctata* oder *Omocestus viridulus* zurückführen. Für weitere Arten, wie *Tettigonia viridissima* und *Oedipoda caerulea* muß die Verteilung eher auf eine Bindung an eine niedrige Höhenstufe zurückgeführt werden. Lediglich für die Arten *Chorthippus parallelus*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus vagans* und vor allem *Gomphoceris rufus* ist eine pH-abhängig Verbreitung wahrscheinlich. Gemeinsam ist den vier Arten die Bevorzugung der weniger sauren Böden. *Eurytop*, ohne erkennbares Optimum, ist die Verbreitung von *Pholidoptera griseoaptera* und *Chorthippus brunneus*.

## 7.9. Höhenlage in Meter über Normalnull

Die Bedeutung der Höhenlage für das örtliche Klima ist ausführlich von GEIGER (1961, §§ 45, 46) beschrieben worden. Wichtiger als die absolute Höhe ist unter den Bedingungen des bearbeiteten niedrigen Mittelgebirges die Lage eines

Areals. Die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, wie sie in der freien Atmosphäre vorherrscht, besteht in den bodennahen Luftschichten nur bei Niederschlag oder starkem Wind. Vor allem an Strahlungstagen und in klaren Nächten bestehen besondere Beziehungen zwischen Kuppen-, Hang- und Talbereichen. Am Tage ist die Tallage am wärmsten und trockensten, die Kuppe am kühlpsten und feuchtesten und die Hanglage gliedert sich zwischen Kuppe und Tal ein. Nachts jedoch ist die Tallage am kühlpsten und feuchtesten, während die Hanglage am wärmsten und trockensten ist und sich die Kuppe zwischen Tal und Hang einordnet. Tallagen besitzen somit ein "kontinentales Klima" mit den größten Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen. In einem orographisch stark gegliederten Gebiet können somit in Arealen gleicher Seehöhe trotz Übereinstimmungen im Strahlungshaushalt und in weiteren Umweltfaktoren durchaus sehr unterschiedliche Temperatur- und Luftfeuchteverhältnisse vorherrschen. In den stromnahen Bereichen sind die klimatischen Bedingungen stark verändert, die mittleren Jahrestemperaturen liegen höher und insbesondere das Klima der S-SW-Hänge und Berge im Rheintal ist ausgeglichener. Mit wachsender Entfernung vom Rhein nimmt sein Einfluß rasch ab.

Auf Grund der dargestellten großen Valenzunterschiede innerhalb der einzelnen Höhenstufen ist eine sinnvolle Einstufung in ökologische Potenzgruppen nicht möglich. Trotz der Einschränkungen kann für eine Reihe von Arten jedoch eine auffällige Häufigkeitsverteilung festgestellt werden, die auf eine Abhängigkeit vom Klima einer bestimmten Höhenlage schließen läßt (Abbildung 22). So besitzen besonders die Charakterarten der bodenfeuchten und mäßig warmen Biotope ein deutliches Optimum in kuppennahen Bereichen, während die der trocken-warmen Biotope ihren Verbreitungsschwerpunkt in den tiefer liegenden rheinnahen Höhenzonen haben. Nicht berücksichtigt bei dieser vertikalen Zonierung sind die unmittelbaren Rheinuferbereiche, in denen andere Bedingungen vorherrschen. Besonders deut-

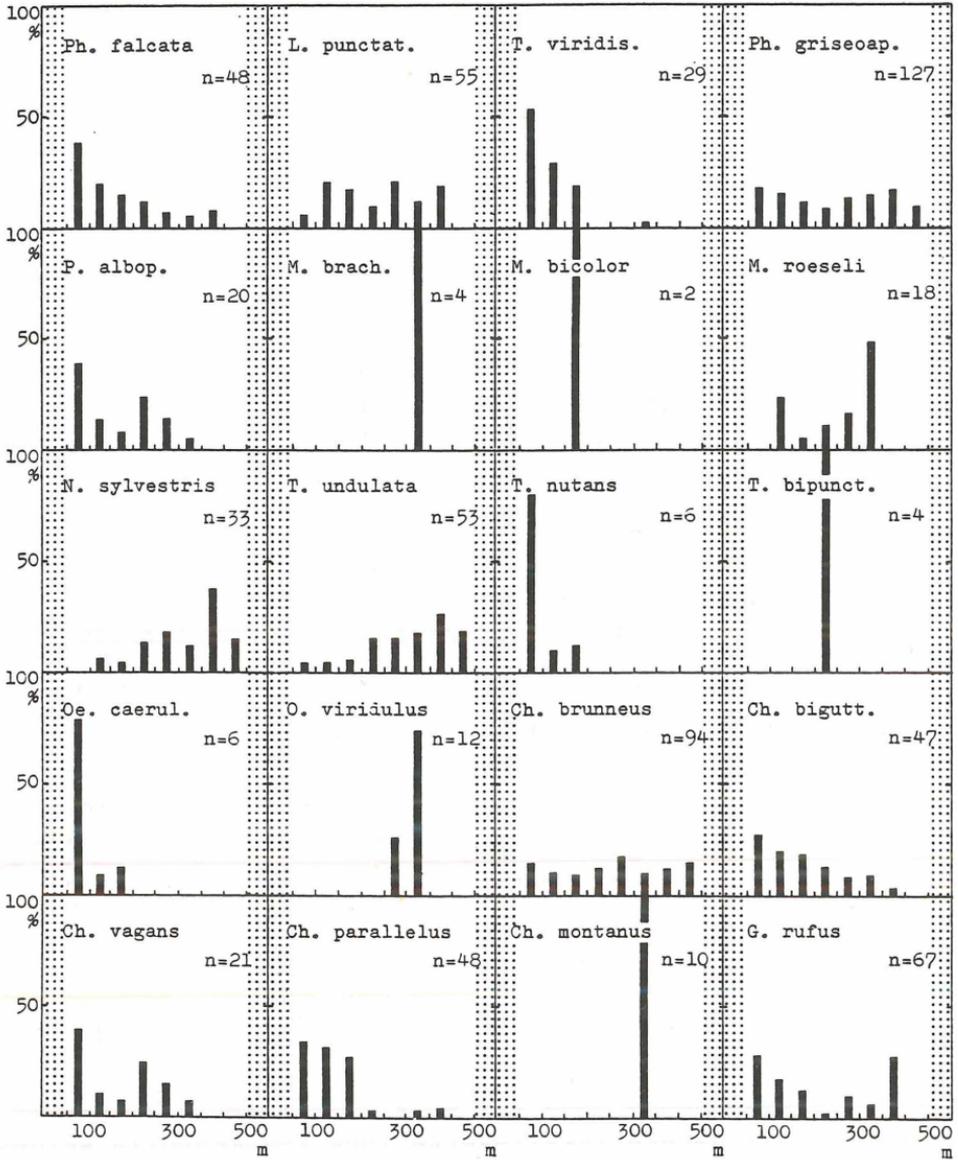


Abbildung 22: Höhenlage in Meter über Normalnull.  
 "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen  
 der Arten in Abhängigkeit von der Höhen-  
 lage. Punktiert - nicht besetzte Klassen.

lich ist die Beziehung zwischen der Höhenlage und der Verbreitung von *Oedipoda caerulescens*. So konnte die Art nicht oberhalb der 200 m Isohypse nachgewiesen werden, obwohl gerade im Wolkenburg-Steinbruch, dessen untere Bereiche sie besiedelt, sehr günstig erscheinende Lebensräume bis zu einer Höhe von etwa 310 m vorhanden wären. Eine vergleichbare vertikale Zonierung der Saltatorienfauna wird von SCHMIDT & BÜHL (1970) aus der Umgebung eines französischen Alpensees und von INGRISCH (1976) vom Vogelsberg beschrieben.

## 8. Die Bedeutung unterschiedlicher Faktorenkombinationen für die Verteilung der Arten

### 8.1. Cluster Analyse der Areale

Jeder der berücksichtigten Umweltfaktoren kann für sich Einfluß auf die Verteilung der Arten im Gelände nehmen, jedoch erst die Summe der Faktoren beschreibt die Qualität eines Areals ausreichend und ist letztlich dafür entscheidend, ob die Lebensbedingungen für die Arten im Optimum oder im Pessimum liegen, eine Population mit Erfolg aufgebaut werden kann oder nicht. Im folgenden sollen Areale mit ähnlichen Faktorenkombinationen zusammengefaßt werden. Anhand der Saltatorienverteilung wird geprüft, ob eine Gruppierung ökologisch verwandter Arten möglich ist, das heißt ob eine Übereinstimmung mit den in Abschnitt 6. auf der Grundlage von Ähnlichkeitskoeffizienten gebildeten Gruppen besteht. Eine sinnvolle Gruppierung ist nur dann zu erwarten, wenn die berücksichtigten Umweltfaktoren ausreichend das Mikroklima der Biotope beschreiben. Zur Analyse wurden die Faktoren 1 bis 6 (Sonnenstrahlung, Pflanzendeckung, Bodenfeuchte, Steingehalt an der Bodenoberfläche, Windoffenheit, Nächtliche Abkühlung) herangezogen. Nicht berücksichtigt wurden der pH-Wert, da er kei-

nen Einfluß auf das Mikroklima hat, und die Höhenlage, wegen der erläuterten Valenzunterschiede für das Klima der bodennahen Luftschicht innerhalb der einzelnen Höhenstufen (vergleiche vorheriges Kapitel).

Die Gruppierung faktoriell ähnlicher Areale birgt methodische Schwierigkeiten in sich, da die Zahl der möglichen Faktorenkombinationen bei dem vorliegenden Material an Meß- beziehungsweise Schätzdaten unübersichtlich ist und die für die Verteilung der Arten wichtigen Unterschiede zwischen den Arealen zunächst nicht zu erkennen sind. Das Problem wurde durch eine Cluster Analyse gelöst (zur Methode siehe Abschnitt 3.6.). Der Computer berechnet und zeichnet ein Dendrogramm, dessen Endglieder den einzelnen Arealen entsprechen. Auf der Grundlage der Saltatorienfauna, die den Arealen zugeordnet wird, ist es möglich, die für die Verteilung bedeutenden Hauptarealgruppen zu ermitteln, so daß jeder Hauptarealgruppe eine typische Saltatorienfauna zukommt, das heißt sie unterscheidet sich in wenigstens einer Art von allen anderen Hauptarealgruppen. Die Ergebnisse der Cluster Analyse sind in Abbildung 23 zusammengefaßt. Die gezeichneten Äste des Dendrogramms (I bis VIII) entsprechen den Hauptarealgruppen. Nicht dargestellt sind 5 einzelne Areale, die jedes für sich innerhalb des Dendrogramms abzweigen und keiner Hauptgruppe zugeordnet werden können. Der Einfluß ihrer besonderen mikroklimatischen Bedingungen auf die Verteilung der Arten kann nicht beurteilt werden. Jede Gruppe besitzt ein definiertes Mikroklima (siehe Abschnitt 8.2.) und ihre spezifische Saltatorienfauna ist ein Indikator für dieses Klima. Die einzelnen Arealgruppen unterscheiden sich jeweils signifikant in mehreren Faktoren untereinander. In Abbildung 24 sind die arithmetischen Mittelwerte  $\bar{x}$  und die 99%igen Vertrauensbereiche der Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten eingetragen. Die Darstellung wurde statistischen Tests vorgezogen, da die Unterschiede visuell besser zu erfassen sind. Nach SACHS (1972) besteht zwischen zwei Parametern auf dem gewählten Niveau

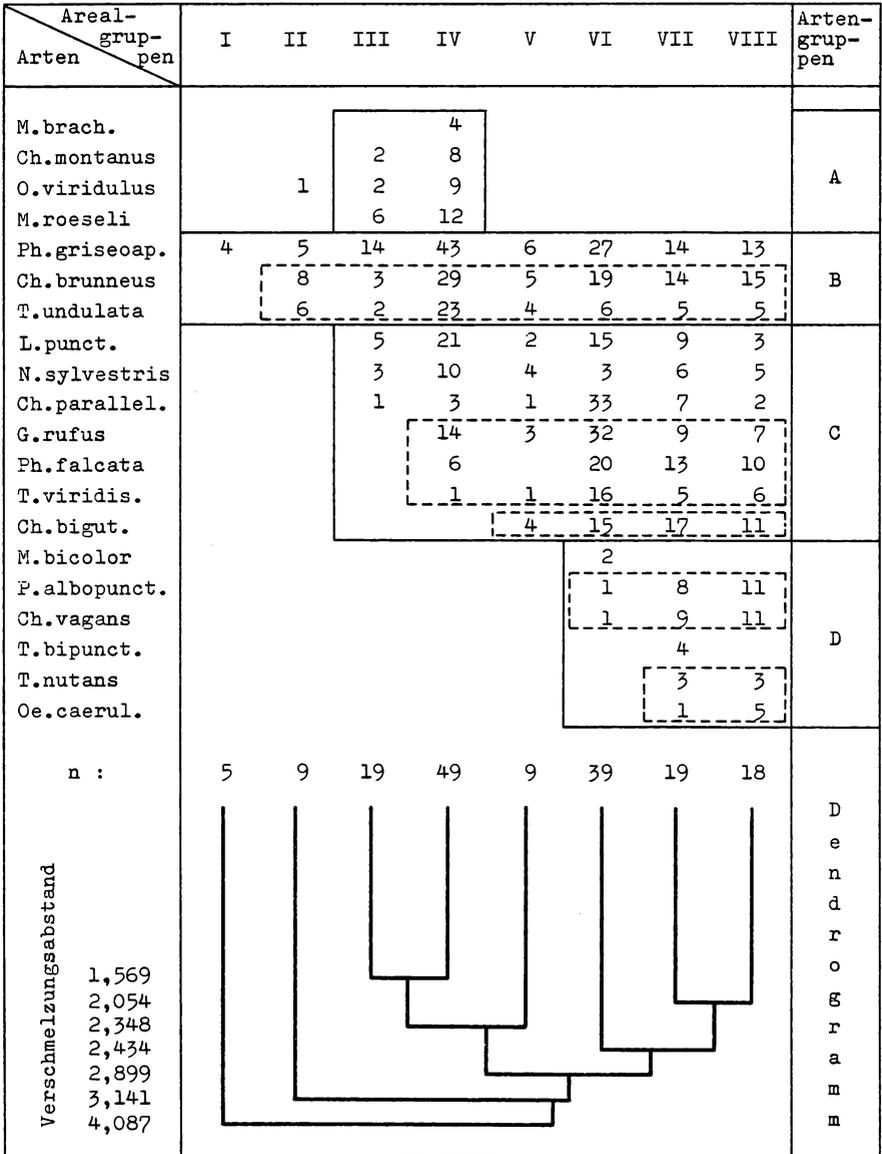
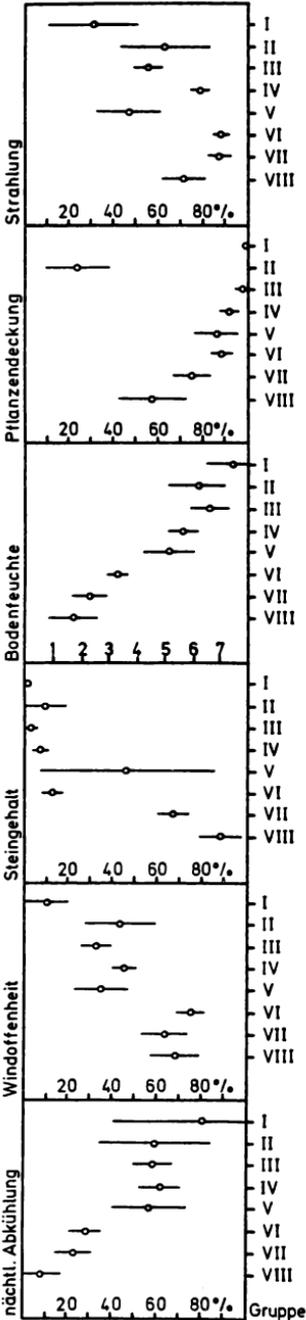


Abbildung 23: Ergebnisse der Cluster Analyse mit Dendrogramm, dessen Äste den Arealgruppen I bis VIII entsprechen, Verschmelzungsabständen, den Artengruppen ökologisch verwandter Saltatorien A bis D, den Besiedlungshäufigkeiten der Arten in den Arealgruppen und Zahl n der Areale in den einzelnen Arealgruppen.



(99%ig) ein echter Unterschied, wenn sich ihre Vertrauensbereiche nicht überschneiden und im allgemeinen auch dann, wenn der größere der Vertrauensbereiche den kleineren um nicht mehr als ein Viertel überdeckt. Auf die mikroklimatischen Eigenschaften der Arealgruppen I bis VIII wird näher in Abschnitt 8.2. eingegangen. Über den Ästen des Dendrogramms ist die Anzahl  $n$  der zu den einzelnen Gruppen gehörenden Areale eingetragen. Der Größe der Gruppen kommt nur insoweit Bedeutung zu, als an ihr der typische Charakter des Untersuchungsgebietes zu erkennen ist. In keinem Fall besiedelt eine Art alle Einzelareale einer Gruppe; auf Grund der faktoriellen Ähnlichkeit innerhalb der Gruppe werden die restlichen jedoch als potentiell besiedelbare Areale angesehen. Vergleiche hierzu Abschnitt 5., in dem auf mögliche Gründe für ein Fehlen in scheinbar günstigen Lebensräumen näher eingegangen wurde. Wird eine Arealgruppe von einer ansonsten häufigen Art nur sehr selten besiedelt, muß daraus geschlossen werden, daß sich die Art im Milieu die-

Abbildung 24: Die Intensität der Faktoren der Arealgruppen I bis VIII,  $\bar{x}$  und 99%iger Vertrauensbereich von  $\mu$ .

ser Gruppe an der Grenze zum Pessimum befindet. In der Regel handelt es sich dann um kleine Restpopulationen in späten Sukzessionsstufen von Kahlschlag-Schonung-Arealen. Auf Grund der Artenverteilung in den Arealgruppen und der faktoriellen Ähnlichkeit der Gruppen untereinander sind die ökologisch verwandten Arten zu den Hauptgruppen A bis D (Abbildung 23) zusammengefaßt, die in sich weiter gegliedert sind (siehe Abschnitt 8.3.).

## 8.2. Arealgruppen mit ähnlichen Faktorenkombinationen, ihr Mikroklima und ihre Saltatorienfauna

Im folgenden wird anhand einer Analyse der verschiedenen Faktorenkombinationen in den Hauptarealgruppen das Mikroklima ihrer Biotope beschrieben und die Verteilung der Arten diskutiert (vergleiche Abbildung 23).

### A r e a l g r u p p e I

|                              | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                    | 31,1    | 100,0   | 7,6     | 0,0     | 7,0     | 80,8    |
| s                            | 9,7     | 0,0     | 0,5     | 0,0     | 4,5     | 19,0    |
| $\frac{99\%VB}{(\bar{x} -)}$ | 19,9    | 0,0     | 1,1     | 0,0     | 9,2     | 39,1    |

Die Gruppe (n=5) besteht aus feucht-kühlen, sehr schattigen Waldwiesen und unterscheidet sich deutlich von den anderen Gruppen (Verschmelzungsabstand 4,087). Die mikroklimatischen Bedingungen sind für die Saltatorien extrem ungünstig. Lediglich Pholidoptera griseoptera ist angepaßt, ihre Populationsdichten scheinen jedoch niedriger zu sein als in Arealen mit anderen Faktorenkombinationen.

### A r e a l g r u p p e II

|                              | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                    | 64,3    | 23,3    | 6,2     | 8,9     | 43,3    | 57,7    |
| s                            | 18,4    | 13,2    | 1,0     | 8,6     | 14,1    | 22,0    |
| $\frac{99\%VB}{(\bar{x} -)}$ | 20,6    | 14,8    | 1,1     | 9,6     | 15,8    | 24,6    |

Die wichtigsten Eigenschaften der Biotope (n=9) sind hohe Bodenfeuchte bei sehr niedrigem Pflanzendeckungsgrad und mäßigem Strahlungsgenuß. Es handelt sich daher ebenfalls um eine feucht-kühle Arealgruppe mit meist N-geneigten, feuchten Fichtenkahlschlägen, die nur von wenigen Saltatorien besiedelt werden können. Typisch ist eine Gemeinschaft von *Chorthippus brunneus* und *Tetrix undulata*; *Pholidoptera griseoptera* fehlt häufiger, wahrscheinlich wegen einer zu geringen Pflanzendeckung. *Omocestus viridulus* besiedelt nur eins der neun möglichen Areale der Gruppe, es dürfte sich dabei um eine Population im Grenzbereich zum Pessimum handeln, so daß die Art nicht als charakteristisch für die Arealgruppe angesehen werden kann.

A r e a l g r u p p e III

|                          | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                | 55,0    | 98,7    | 6,7     | 1,8     | 32,1    | 58,4    |
| s                        | 9,1     | 2,1     | 1,0     | 4,8     | 9,9     | 12,8    |
| 99%<br>( $\bar{x} \pm$ ) | 6,0     | 1,4     | 0,7     | 2,8     | 6,5     | 8,5     |

Zu dieser Gruppe gehören 19 Areale, in erster Linie NW-, N- und NE-geneigte, gramineenreiche Kahlschläge und Schonungen sowie Waldwiesen in Tallagen, die durch hohe Bodenfeuchte und eine dichte Krautschicht bei mäßig hoher Einstrahlungsenergie gekennzeichnet sind. Die Gruppe unterscheidet sich von Gruppe I insbesondere durch einen deutlich höheren Strahlungsgenuß und geringere nächtliche Abkühlung sowie von Gruppe II durch den hohen Pflanzendeckungsgrad.

Die Saltatorienfauna umfaßt 9 Arten, von denen jedoch nur *Pholidoptera griseoptera* fast alle Areale besiedelt. Für *Chorthippus montanus*, *Omocestus viridulus* und mit Einschränkung auch für *Metrioptera roeseli* ist das seltene Auftreten im wesentlichen auf dispersionsdynamische Gründe zurückzuführen, die ausführlich in Abschnitt 5. erörtert wurden. Zu große Entfernungen zu den neu entstehen-

den Kahlschlag-Schonung-Arealen und die rasch fortschreitende Sukzession der Vegetation bedingen die disjunkte Verteilung dieser Arten. Anders dagegen müssen die geringen Besetzungszahlen von *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata*, *Leptophyes punctatissima*, *Nemobius sylvestris* und *Chorthippus parallelus* beurteilt werden. Die Entfernung kann für diese Arten nur eine geringe Bedeutung haben, da sie im Untersuchungsgebiet weit verbreitet sind. Unterschiedlich deutlich für die einzelnen Arten liegen die Areale im Grenzbereich zum Pessimum. In der Regel handelt es sich daher um Populationen, die auf diesen Arealen kaum mehr als zwei weitere Vegetationsperioden überdauern dürften.

A r e a l g r u p p e IV

|                            | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                  | 78,6    | 91,8    | 5,7     | 6,0     | 44,6    | 61,6    |
| s                          | 8,2     | 9,2     | 1,4     | 7,1     | 11,0    | 22,8    |
| 99%VB<br>( $\bar{x} \pm$ ) | 3,1     | 3,5     | 0,5     | 2,7     | 4,2     | 8,7     |

Eine umfangreiche Gruppe (n=49) sonniger Schläge, Schonungen und Waldwiesen mit hoher Milieufeuchte, deren Ähnlichkeit zu Gruppe III relativ groß ist (Verschmelzungsabstand 1,569). Arealgruppe IV zeichnet sich jedoch durch einen wesentlich höheren Strahlungsgenuß aus. Besonders die Charakterarten feucht-warmer Biotope besitzen hier ihren Verbreitungsschwerpunkt.

In nahezu allen Biotopen ist *Pholidoptera griseoptera* vorhanden, häufig sind auch *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata* und *Leptophyes punctatissima*. Regelmäßig treten *Metrioptera roeseli* und die im Vergleich zu Gruppe III neu hinzukommende *Gomphocerus rufus* auf. Das seltene Vorkommen von *Metrioptera brachyptera*, *Phaneroptera falcata* und *Tettigonia viridissima* muß wiederum auf die erörterten dispersionsdynamischen Gründe zurückgeführt werden (vergleiche Abschnitt 5.). Für die Verteilung von *Metrioptera brachyptera*, die nur in dieser Arealgruppe nachgewiesen werden konnte, ist zweifellos die Stabilität der von ihr

besiedelten Biotope von großer Bedeutung, in denen über viele Jahre hinweg ein migrationsauslösender Populationsdruck fehlt. Dagegen handelt es sich bei *Phaneroptera falcata* und insbesondere *Tettigonia viridissima* um Populationen auf instabilen Kahlschlag-Schonung-Arealen, deren ehemals günstige mikroklimatische Eigenschaften sich durch die rasche Vegetationsentwicklung zunehmend dem ökologischen Pessimum nähern. Beide Arten besitzen ihren Verbreitungsschwerpunkt in den Arealgruppen VI bis VIII.

A r e a l g r u p p e V

|                            | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                  | 46,0    | 85,6    | 5,1     | 45,6    | 34,4    | 56,0    |
| s                          | 13,7    | 8,8     | 0,8     | 35,0    | 11,3    | 15,5    |
| 99%VB<br>( $\bar{x} \pm$ ) | 15,3    | 9,8     | 0,9     | 39,1    | 12,6    | 17,3    |

Eine recht kleine Gruppe (n=9) mäßig feuchter, schattiger Areale mit lockerer Krautschicht und unterschiedlich hohem Steingehalt an der Bodenoberfläche, meist in schattigen Randbereichen der Steinbrüche. Es fehlen die Arten der Gruppen A und D, für die der Strahlungsgenuß der Areale zu niedrig ist. Für die Artengruppe A ist die Bodenbeziehungsweise Luftfeuchte zu gering, für die Gruppe D dagegen wesentlich zu hoch. Neu hinzu kommt *Chorthippus biguttulus*, die in der vorherigen Arealgruppe offensichtlich auf Grund zu hoher Milieufeuchte keine Populationen aufbauen kann. Häufigste Arten sind *Pholidoptera griseoptera*, *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata* und *Nemobius sylvestris*. Das seltene Auftreten von *Leptophyes punctatissima*, *Chorthippus biguttulus* und *Tettigonia viridissima* weist auf eine ungünstige Faktorenkombination hin und läßt den Schluß zu, daß es sich um Restpopulationen oder Besiedlungsversuche handelt.

A r e a l g r u p p e VI

|                                | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                      | 87,7    | 89,2    | 3,2     | 12,4    | 74,1    | 28,2    |
| s                              | 6,8     | 10,2    | 0,7     | 9,5     | 13,5    | 15,7    |
| $\frac{99\%VB}{(\bar{x} \pm)}$ | 3,0     | 4,4     | 0,3     | 4,1     | 5,9     | 6,8     |

Eine umfangreiche Gruppe (n=39) mit großen faktoriellen Unterschieden zu den bislang behandelten Gruppen. Im Dendrogramm (Abbildung 23) zweigt sie zusammen mit den Gruppen VII und VIII weit unten von der Astgruppe III, IV und V ab (Verschmelzungsabstand 2,899). In Gruppe VI sind in erster Linie trockene, aufgelockerte Arrhenatherum-Wiesen im Bereich der ehemaligen Weinberge und auf dem Rodderberg sowie warme Kahlschläge an S- bis SW-exponierten Hängen zusammengefaßt; charakteristisch sind Strahlungsreichtum, große Windoffenheit und geringe nächtliche Abkühlung. Die Arealen sind Verbreitungsschwerpunkt für die Artengruppe C, eine Ausnahme bildet nur *Nemobius sylvestris*. Aus Gruppe B sind *Pholidoptera griseoptera* und *Chorthippus brunneus* häufig vertreten. *Tetrix undulata* ist, wie auch in den folgenden Arealgruppen, wohl wegen zu geringer Milieufeuchte, seltener. Als neue Arten treten *Metrioptera bicolor*, *Platycleis albopunctata* und *Chorthippus vagans* auf. *Metrioptera bicolor* lebt ausschließlich in zwei Arealen dieser Gruppe, ihr Fehlen in vielfach vorhandenen günstigen Arealen im Siebengebirge beruht auf der langjährigen Konstanz ihrer Lebensräume auf dem Rodderberg. Außerdem stellt der Rhein eine Verbreitungsbarriere für die nicht flugfähige Art dar. Makroptere Formen, wie sie besonders im feucht-kühlen Jahr 1974 von *Chorthippus parallelus* und *Metrioptera roeseli* auftraten, konnten nicht gefangen werden. *Platycleis albopunctata* und *Chorthippus vagans* leben im Milieu dieser Arealgruppe im Grenzbereich zum Pessimum. Insbesondere ein zu hoher Pflanzendeckungsgrad wirkt sich hemmend auf eine Verbreitung in den weiteren Arealen aus.

A r e a l g r u p p e VII

|                                  | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                        | 87,1    | 74,7    | 2,2     | 67,6    | 63,7    | 23,6    |
| s                                | 7,4     | 13,0    | 1,0     | 10,7    | 16,7    | 12,3    |
| 99%VB<br>( $\frac{\bar{x}}{s}$ ) | 4,9     | 8,6     | 0,6     | 7,1     | 11,0    | 8,1     |

Eine strahlungsgünstige Arealgruppe (n=19), die sich von Gruppe VI in erster Linie durch einen hohen Steingehalt an der Bodenoberfläche und geringere Bodenfeuchte auszeichnet. Es sind trocken-heiße Biotope, meist im Bereich der ehemaligen Steinbrüche. Charakteristisch sind hohe Temperaturen und niedrige relative Luftfeuchten. Regelmäßig sind die Arten der Gruppen B und C vertreten. Es fehlt dagegen auf Grund zu geringer Pflanzendeckung *Metrioptera bicolor*. Neu hinzu kommen *Tetrix bipunctata*, *Tetrix nutans* und *Oedipoda caerulescens*. Da die Arten der Gruppe D in langjährig konstanten Habitaten leben, können alle Areale der Gruppe VII als potentiell besiedelbare Biotope angesehen werden, die aus populationsdynamischen Gründen nicht besiedelt werden.

A r e a l g r u p p e VIII

|                                  | Strahl. | Pflanz. | Bodenf. | Steing. | Windof. | Abkühl. |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\bar{x}$                        | 71,8    | 56,7    | 1,7     | 88,2    | 68,3    | 8,6     |
| s                                | 14,9    | 22,0    | 1,3     | 14,8    | 16,9    | 14,4    |
| 99%VB<br>( $\frac{\bar{x}}{s}$ ) | 10,2    | 15,0    | 0,9     | 10,1    | 11,5    | 9,8     |

Die Gruppe (n=18) umfaßt die trockensten Areale im Untersuchungsgebiet, fast ausschließlich Schotterhänge in ehemaligen Steinbrüchen. In ihrer Faktorenkombination ähnelt sie der trocken-heißen Arealgruppe VII (Verschmelzungsabstand 2,054). Die strahlungsungünstigere Lage wird ausgeglichen durch geringere Pflanzendeckung, niedrigere Bodenfeuchte, sehr hohen Steingehalt an der Bodenoberfläche und die geringste nächtliche Abkühlung im Untersuchungsgebiet. Die Saltatorienfauna ist weitgehend identisch mit der aus Gruppe VII, jedoch fehlt *Tetrix bipunctata*. Außer-

dem treten *Leptophyes punctatissima*, *Chorthippus parallelus* und *Chorthippus biguttulus* seltener auf, was auf sich verschlechternde Lebensbedingungen hinweist. Der Verbreitungsschwerpunkt von *Platycleis albopunctata*, *Chorthippus vagans* und *Oedipoda caerulescens* liegt deutlich im Bereich dieser mikroklimatisch extremen Arealgruppe.

### 8.3. Artengruppen mit ähnlicher ökologischer Potenz

Auf Grund der Verteilung in den Arealgruppen (vergleiche Abbildung 23) können ökologisch verwandte Arten, das heißt Arten, die in Arealen mit faktoriell ähnlicher Zusammensetzung leben, zu den Gruppen A, B, C und D zusammengefaßt werden. Die Untergruppen sind durch unterbrochene Linien gekennzeichnet. Im folgenden wird auf die ökologischen Potenzen der Gruppen eingegangen und ein Vergleich mit der Artengruppierung im Konstellationsdiagramm (S.48) vorgenommen. Eine zusammenfassende Darstellung von "wahren" relativen Häufigkeitsverteilungen der Arten, Korrelationsmatrizes der Faktoren, Mittelwerten, Standardabweichungen und Vertrauensbereichen ist in den Abbildungen I bis XX im Anhang vorgenommen worden (die Reihenfolge der Arten entspricht der in Tabelle I im Anhang).

#### A r t e n g r u p p e A

*Metrioptera brachyptera*, *Chorthippus montanus*, *Omocestus viridulus*, *Metrioptera roeseli*

Arten mit einer stenotopen Verteilung in den Arealgruppen III und IV, in Biotopen, die sich in erster Linie durch hohe Milieufeuchte und dichte Krautschicht auszeichnen. Die Verbreitung von *Metrioptera brachyptera* ist auf die strahlungsgünstigeren Lebensräume beschränkt. Ein Vergleich mit der Artengruppierung im Konstellationsdiagramm zeigt eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse: 1. Die ökologische Sonderstellung im Vergleich mit den an-

deren Artengruppen und 2. innerhalb der Gruppe eine deutliche Abgrenzung von *Metrioptera brachyptera* insbesondere zu *Metrioptera roeseli*, deren Verbreitungsschwerpunkt zur schattigeren Arealgruppe III verschoben ist.

#### A r t e n g r u p p e B

*Pholidoptera griseoptera*, *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata*

Weitgehend eurypotente Arten, *Pholidoptera griseoptera* wurde in allen Arealgruppen nachgewiesen, *Chorthippus brunneus* und *Tetrix undulata* fehlen in Arealgruppe I. Gemeinsam ist ihnen eine gute Anpassung an den Sukzessionsablauf in Kahlschlag-Schonung-Arealen, die eine weite Verbreitung im Untersuchungsgebiet bedingt. Es liegen keine deutlichen Verbreitungsoptima vor. Ungünstig scheint sowohl für *Chorthippus brunneus* als auch für *Tetrix undulata* die Faktorenkombination der Gruppe III mit sehr hoher Milieufeuchte und dichter Krautschicht bei geringem Strahlungsgenuß zu sein. Beim Vergleich mit der Artengruppierung im Konstellationsdiagramm ist eine Übereinstimmung im Ergebnis für die ökologische Verwandtschaft von *Chorthippus brunneus* und *Tetrix undulata* festzustellen. Ferner wird die Sonderstellung von *Pholidoptera griseoptera* deutlich, die im Grunde eine eigene ökologische Gruppe darstellt. Auf die im Konstellationsdiagramm zu erkennende Ähnlichkeit zwischen *Nemobius sylvestris*, *Tetrix undulata* und *Chorthippus brunneus* wird unten näher eingegangen.

#### A r t e n g r u p p e C

*Leptophyes punctatissima*, *Nemobius sylvestris*, *Chorthippus parallelus*, *Gomphocerus rufus*, *Phaneroptera falcata*, *Tetrigonia viridissima*, *Chorthippus biguttulus*

Eine in sich gegliederte Gruppe, die auf Grund der faktoriellen Unterschiede zwischen den Arealgruppen III bis V und VI bis VIII zusammengefaßt wurde. Die größten ökologischen Potenzen besitzen *Leptophyes punctatissima* und *Nemo-*

*bius sylvestris*, mit guter Anpassung an den Sukzessionsablauf in Kahlschlag-Schonung-Arealen. Die Fundhäufigkeiten der beiden Arten in den Arealgruppen weisen auf eine Zwischenstellung zur Artengruppe B mit *Chorthippus brunneus*, *Tetrix undulata* und *Pholidoptera griseoptera* hin. *Chorthippus parallelus* hat ein deutliches Verbreitungsoptimum in der Arealgruppe VI mit ihren mäßig feuchten bis trockenen Wiesenbiotopen und leitet über zu den drei folgenden Arten, die die Milieubedingungen in Arealgruppe III meiden. Aus der Artengruppe C ist *Gomphocerus rufus* am besten an das feuchte Klima der Arealgruppe IV angepaßt. Für *Phaneroptera falcata* und *Tettigonia viridissima* liegen die Arealgruppen IV und V im Grenzbereich zum Pessimum, die Hauptverbreitung in Arealgruppe VI. Eine Übergangsstellung zur Artengruppe D nimmt *Chorthippus biguttulus*, mit Verbreitungsoptimum in Arealgruppe VII, ein. Einzelheiten der hier aufgezeigten ökologischen Ähnlichkeiten werden auch im Konstellationsdiagramm deutlich. Eine Ausnahme bildet lediglich *Nemobius sylvestris*, die auf Grund der Ähnlichkeitskoeffizienten zur Artengruppe B zu rechnen ist. Es muß angenommen werden, daß für die auf dem Boden zwischen Fallaub lebende Art die berücksichtigten Umweltfaktoren zur Darstellung ihrer Verteilung im Gelände nicht völlig ausreichen.

#### A r t e n g r u p p e D

*Metrioptera bicolor*, *Platycleis albopunctata*, *Chorthippus vagans*, *Tetrix bipunctata*, *Tetrix nutans*, *Oedipoda caerulea*

Die Artengruppe besitzt eine stenotope Verteilung in den trocken-heißen Biotopen des Untersuchungsgebietes. Deutlich ist die Sonderstellung von *Metrioptera bicolor*, die nur Arealgruppe VI besiedelt und die große ökologische Ähnlichkeit von *Platycleis albopunctata* und *Chorthippus vagans* mit Verbreitungsschwerpunkt in den trocken-heißen Arealen der Gruppen VII und VIII. *Tetrix bipunctata* tritt nur in Arealgruppe VII auf. Ökologisch nah verwandt sind

die Arten *Tetrix nutans* und *Oedipoda caerulescens*, die in den Arealgruppen VII und VIII leben. Ein Vergleich mit der Gruppierung im Konstellationsdiagramm zeigt hohe Übereinstimmung der Ergebnisse.

#### 8.4. Vielfaktoren-Ökodiagramme, eine spezielle Methode zur Darstellung der ökologischen Potenzen einzelner Arten

Die ökologischen Potenzen der Arten wurden in der vorliegenden Arbeit durch Konstellationsdiagramm, Cluster Analyse und "wahre" relative Häufigkeitsverteilungen in Verbindung mit den Korrelationsmatrizes der Faktoren dargestellt. Am Beispiel dreier Ensiferenarten soll zur Einzeldarstellung die Methode der Vielfaktorenökodiagramme vorgestellt werden. Die Diagramme zeichnen sich insbesondere dadurch aus, daß sie visuell leicht faßbar sind und daß alle Einzelwerte abgelesen werden können, das heißt die faktorielle Qualität jedes Areals ist direkt ersichtlich. Die Methode wurde von DAHMEN, F. et al. (1976) entwickelt und beruht auf der Ineinanderschachtelung von Matrizen. Die Autoren zeigen anhand von Beispielen die vielseitigen Möglichkeiten auf, die sich durch verschiedene graphische Darstellung und die Verwendung von Farbsystemen ergeben. Sinnvoll, das heißt lesbar, lassen sich bis zu acht Faktoren, geteilt in drei bis sieben Klassen in der Ebene darstellen. Einschränkend ist anzumerken, daß die Vielfaktorenökodiagramme beim vorliegenden Datenmaterial zwar erlauben, die verschiedene Verteilung der Arten zu beurteilen, jedoch keinen überregionalen Vergleich mit entsprechenden Daten aus anderen Untersuchungsgebieten zulassen, da es sich bei der Arealauswahl nicht um eine im statistischen Sinne echte Zufallsstichprobe handelt. Aus diesem Grunde wurden für die Einzeldarstellung der Ökologie der Arten die "wahren" relativen Häufigkeitsverteilungen (Ab-

bildungen I bis XX im Anhang) vorgezogen, da sie von subjektiven Fehlern bei der Arealauswahl und Überbewertungen bestimmter häufiger Arealtypen entzerzt sind.

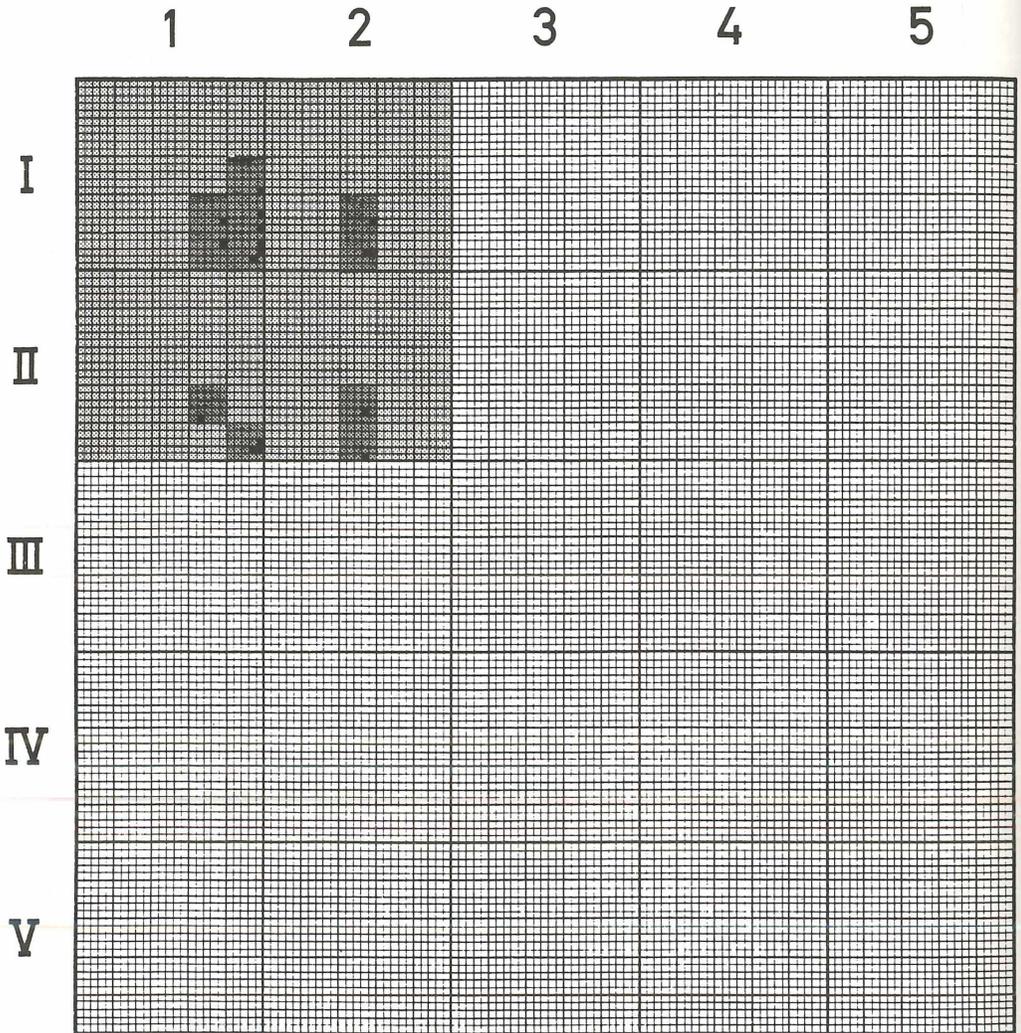
Als Beispiele wurden die Arten *Platycleis albopunctata*, *Phaneroptera falcata* und *Metrioptera roeseli* (Abbildungen 25 bis 27) mit einer sehr unterschiedlichen ökologischen Potenz ausgewählt. Zur Darstellung wurden die Faktoren Sonnenstrahlung, Pflanzendeckungsgrad, Bodenfeuchte, Steingehalt an der Bodenoberfläche, Windoffenheit und Nächtliche Abkühlung herangezogen und in je fünf Klassen geteilt. Für die Faktoren, deren Ausgangsdaten in Prozent berechnet beziehungsweise geschätzt wurden, gilt: Klasse I = 0 bis 19,9%, Klasse II = 20 bis 39,9%, Klasse III = 40 bis 59,9%, Klasse IV = 60 bis 79,9%, Klasse V = 80 bis 100%. Die Umrechnungen für den Faktor Bodenfeuchte sind Tabelle 6 zu entnehmen.

| Schätzstufen der relativen Bodenfeuchte | 0 | 1 | 2  | 3 | 4   | 5  | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|----|---|-----|----|---|---|---|
| Intensitätsklassen                      | I |   | II |   | III | IV |   | V |   |

Tabelle 6: Umrechnung des geschätzten Faktors relative Bodenfeuchte für die Darstellung in den Abbildungen 25 bis 27.

Eine von DAHMEN, F. et al. (1976) vorgeschlagene bedeutungsbezogene Abstufung in eine ökologisch relevante Werteskala, in der jede Faktorenklasse ökologisch gleich gewichtet wäre - die Autoren nennen diese Klassen "Ökol" - konnte nicht vorgenommen werden. Die ökologische Bedeutung der einzelnen Faktorenklassen schwankt stark und ist abhängig von der Kombination der anderen Faktoren. Somit ist keine sachbezogene Gewichtung und Abgrenzung der Faktorenklassen möglich.

Ziel der Vielfaktorenökodiagramme ist eine optisch einprägsame Darstellung, die eine leichte Vergleichbarkeit der Ar-



A Bodenfeuchte  
B nächtl. Abkühl.

C Strahlung  
D Windoffenheit

E Pflanzendeck.  
F Steingehalt

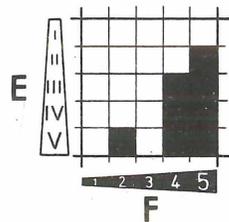
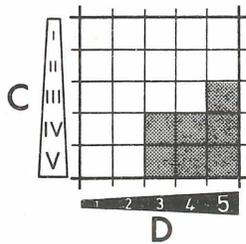
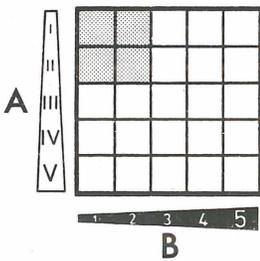
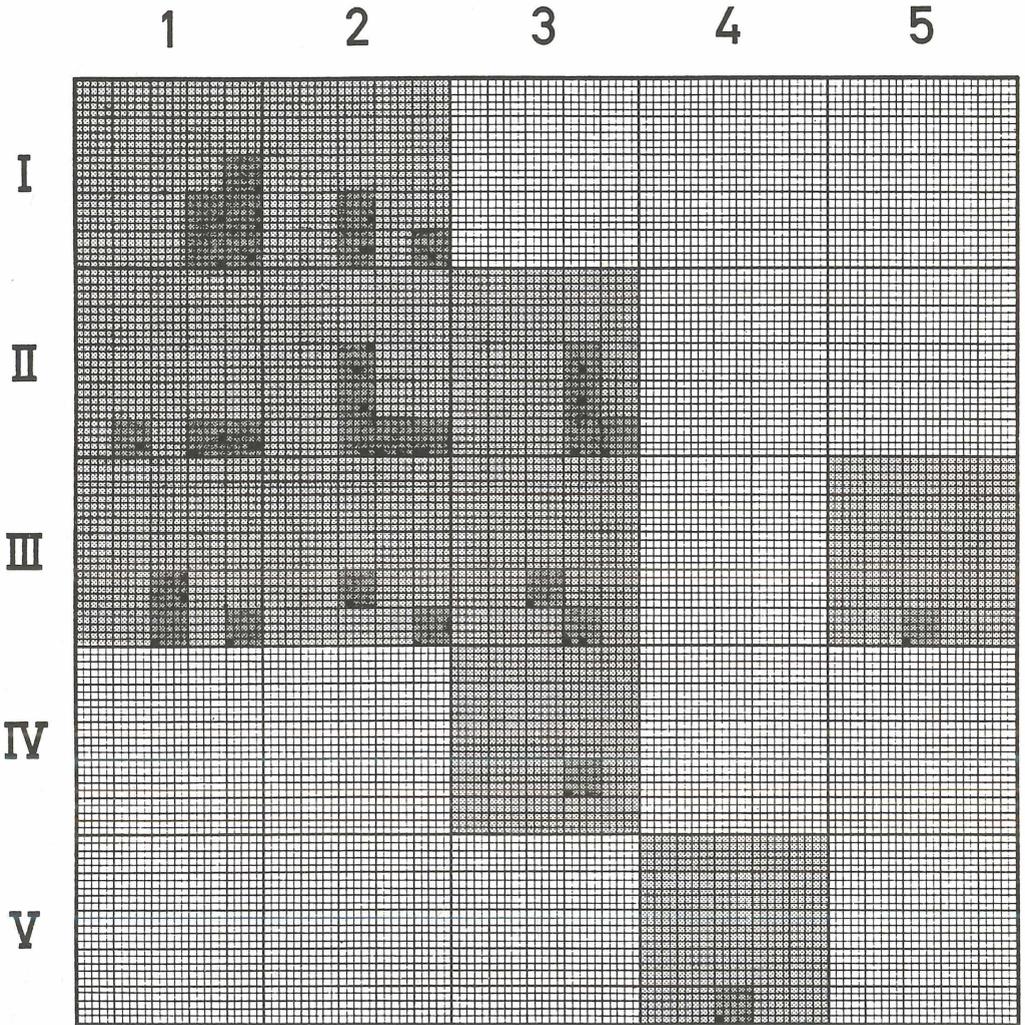


Abbildung 25: *Platycleis albopunctata* (GOEZE)  
6 - Faktoren - Ökodiagramm



A Bodeneuchte  
B nächtl. Abkühl.

C Strahlung  
D Windoffenheit

E Pflanzendeck  
F Steingehalt

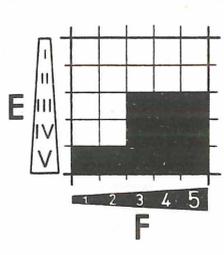
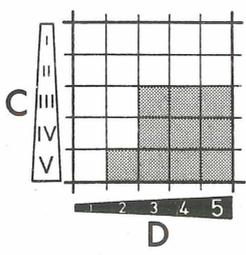
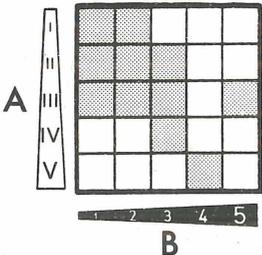
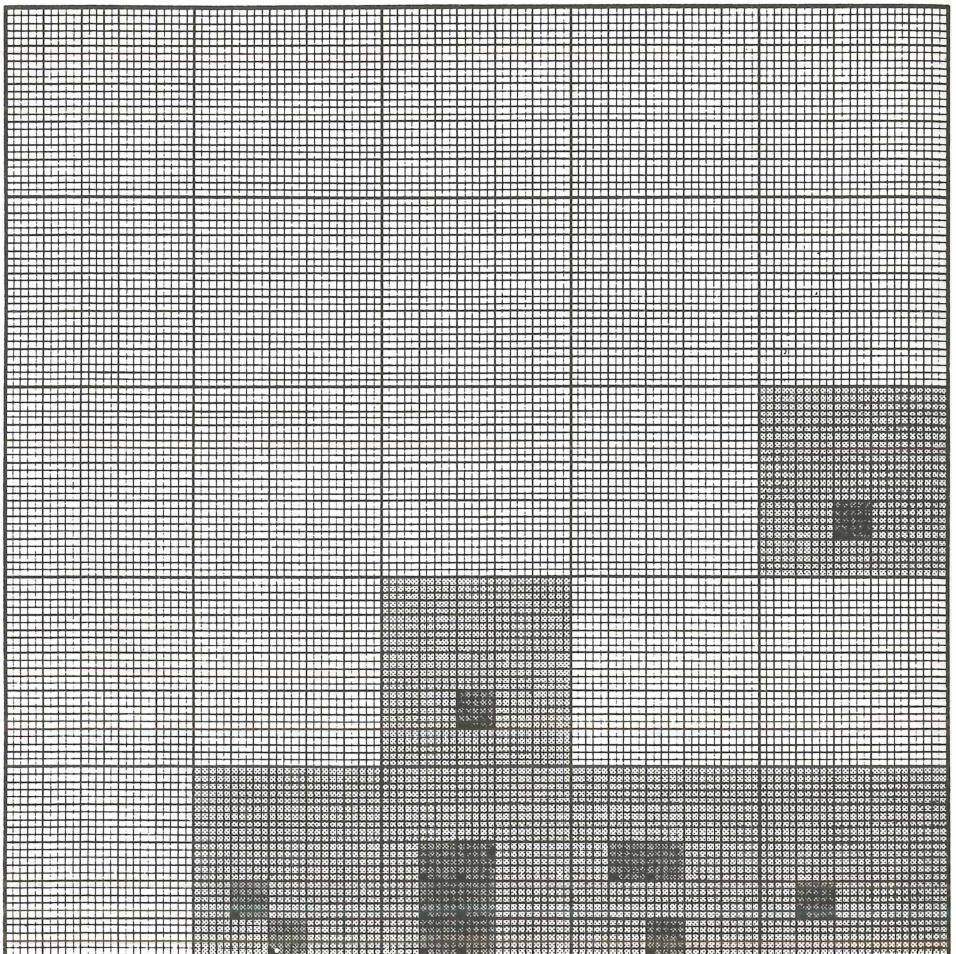


Abbildung 26: *Phaneroptera falcata* (PODA.)

6 - Faktoren - Ökodiagramm

1 2 3 4 5

I  
II  
III  
IV  
V



A Bodenfeuchte  
B nächtl. Abkühl.

C Strahlung  
D Windoffenheit

E Pflanzendeck.  
F Steingehalt

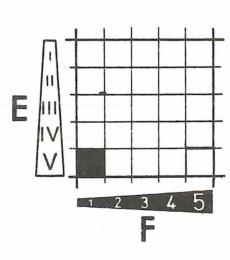
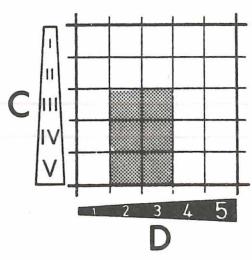
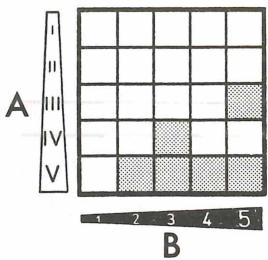


Abbildung 27: *Metrioptera roeseli* (HGB.)  
6 - Faktoren - Ökodiagramm

ten ermöglicht. Dabei ist von Bedeutung, welchen Koordinaten (A bis F) die Faktoren zugeordnet und welche Faktorenpaare zusammengefaßt werden. Günstig erscheint es, hoch korrelierte Faktoren zusammenzustellen und den Hauptkoordinaten diejenigen zuzuordnen, welche die größten Verteilungsunterschiede der Arten aufweisen. Die Faktorenreihenfolge wird daher abweichend von der bisher eingehaltenen geändert. Das Ergebnis sind die Abbildungen 25 bis 27, aus denen die bereits oben beschriebenen ökologischen Potenzen der Arten abgelesen werden können und die einen objektiven und schnellen Vergleich der Arten untereinander ermöglichen.

## 9. Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen die Abhängigkeit der regionalen Verteilung der Saltatorien vom Mikroklima ihrer Lebensräume. Die ökologischen Potenzen der Arten lassen sich durch sechs Umweltfaktoren, die in ihrer Gesamtheit ein Maß für die Qualität des Mikroklimas sind, exakt definieren. Es bleibt zu diskutieren, inwieweit die Befunde mit den Ergebnissen anderer Autoren übereinstimmen. Insbesondere sollen die aus der Literatur bekannten Daten zu Vorzugstemperaturen und den Beziehungen zwischen relativer Luftfeuchte und Transpirationsrate der Tiere, die in Labortests ermittelt wurden, mit den im Freiland gewonnenen Ergebnissen verglichen werden. Weiterhin muß geprüft werden, welchen Einfluß das Regionalklima auf die Verteilung nimmt.

JAKOVLEV & KRÜGER (1954) und GÄRDEFORS (1966) ermittelten in Laborversuchen für alle Acrididen einen einheitlichen Vorzugstemperaturbereich zwischen etwa 36 und 39°C. JAKOVLEV (1956) konnte außerdem nachweisen, daß der Temperaturbereich, in dem die Transpirationsrate von den Tieren reguliert werden kann, übereinstimmend zwischen etwa 30 und

35°C liegt. Eine Ausnahme bildet lediglich *Oedipoda caerulea* mit einem besseren Austrocknungsschutz; ihr Regulationsvermögen beginnt bereits unterhalb von 20°C, ist aber ebenfalls oberhalb von 35°C erschöpft. Bemerkenswert ist zum einen die Höhe der Vorzugstemperaturen und zum anderen die Tatsache, daß Arten, die in unterschiedlichsten Biotopen und geographischen Regionen leben, den gleichen Vorzugsbereich besitzen. In Nord- aber auch in Mitteleuropa werden solch hohe Temperaturen nur selten und nur für kurze Zeit an Strahlungstagen erreicht (vergleiche Abbildung 9, Seite 35). Daraus könnte gefolgert werden, daß die Acrididenverteilung in Mittel- und Nordeuropa einheitlich auf die wärmsten Biotope beschränkt sein müsse. Die Besiedlungsspektren der Arealgruppen III und V in Abbildung 23 (Seite 85) zeigen jedoch, daß insgesamt sieben Acrididenarten im Untersuchungsraum trotz ihrer hohen Vorzugstemperaturen und unabhängig von der Milieufeuchte durchaus auch kühle Biotope besiedeln. Der scheinbare Widerspruch klärt sich jedoch auf, wenn berücksichtigt wird, daß es sich bei den im Labortest ermittelten Vorzugstemperaturen um Vorzugskörpertemperaturen und nicht um Vorzugsbiotopbeziehungsweise Vorzugslufttemperaturen handelt. Anders als in den bodenbeheizten Temperaturorgeln, in denen die Körpertemperatur der Tiere höchstens den Wert der umgebenden Lufttemperatur annimmt, steigt sie unter Freilandbedingungen bei Bestrahlung bis zu mehr als 15°C über die Umgebungstemperatur und kann durch entsprechende Ausrichtung der Körperachse zur Strahlung, zum Wind, durch Schutzsuche hinter Pflanzenteilen und durch Transpiration wesentlich reguliert werden (UVAROV 1966). Eine Vorzugskörpertemperatur im Bereich zwischen etwa 36 und 39°C kann an Strahlungstagen bei Lufttemperaturen zwischen etwa 20 und 40°C erreicht werden. Temperaturen von 20°C oder wenig darüber werden in Sommern mit annähernd normalem Witterungsablauf häufig auch in kühleren Arealen erreicht. Als Mindestanforderung an mögliche Lebensräume bleibt ein Anspruch auf einen ausreichend hohen Strahlungsgenuß der Areale, dessen

Höhe vom regionalen Klima abhängt und dessen untere Grenze im Untersuchungsgebiet etwa bei 50% der maximal verfügbaren, durchschnittlich zugestrahlten Sonnenenergie liegt (vergleiche Abbildung 15, Seite 60). Es handelt sich dabei um die Mindestenergiezufuhr, die sowohl zur Larvalentwicklung als auch zum Erreichen einer ausreichenden Reproduktionsrate benötigt wird. Nach RICHARDS & WALOFF (1954) beeinflußt die Temperatur (und/oder die Strahlung) alle Stadien des reproduktiven Kreislaufs, eingeschlossen das Gewicht der geschlechtsreifen Tiere, die Anzahl der Eigelege und über das Gewicht die Anzahl der Eier pro Gelege. Daraus läßt sich die Bedeutung der regionalen Witterung und des jährlichen Witterungsablaufes insbesondere für Populationen erkennen, die in Arealen existieren, deren Strahlungsgenuß im Bereich der Untergrenze um 50% liegt, und es macht deutlich, daß die Chancen einer erfolgreichen Besiedlung von Biotopen im Grenzbereich zum mikroklimatischen Pessimum für Arten mit hoher Reproduktionsrate wesentlich größer sind als für solche mit einer niedrigen.

Im Gegensatz zu den Caeliferen wurden für Ensiferen unterschiedliche Vorzugstemperaturen ermittelt (NIELSEN 1938, JAKOVLEV 1961). JAKOVLEV (1961) konnte außerdem nachweisen, daß die Temperaturbereiche, in denen die Transpirationsrate reguliert werden kann, mit den verschiedenen Vorzugstemperaturen der Arten übereinstimmen. Die Anpassung der Transpiration an eine bestimmte biotoptypische Temperatur kommt der häufig dämmerungs- beziehungsweise nacht-aktiven Lebensweise der Ensiferen entgegen, da in diesen Stunden eine so weitgehende Regulation der Körpertemperatur, wie sie oben beschrieben wurde, nicht möglich ist. Allerdings kann auch nachts die vertikale Temperaturschichtung ausgenutzt und die Kaltluft in Bodennähe gemieden werden, indem die Tiere im Laufe der Nacht immer höher auf Sträucher und Bäume klettern, wie NIELSEN (1938) für *Tetrigonia viridissima* nachwies. Auch die Ensiferen besiedeln im Untersuchungsgebiet nur Biotope von etwa 50%igem Strahlungsgenuß und mehr; eine Ausnahme macht Pholidoptera gri-

seoptera, die auch in sehr schattige Areale vordringt.

Nach JAKOVLEV (1956, 1959) ist die Transpiration der Acrididen auf die relative Luftfeuchte ihrer Biotope eingestellt und das Regulationsvermögen erschöpft bei einer relativen Luftfeuchte, die unter normalen Sommerverhältnissen in den entsprechenden Biotopen als extrem niedrig anzusehen ist. Die nach ökologisch verwandten Artengruppen gegliederte Verteilung der Arten in den Arealgruppen III bis VIII in Abbildung 23 (Seite 85) - die relative Luftfeuchte nimmt von Arealgruppe III bis Arealgruppe VIII ab - unterstreicht die verbreitungsbestimmende Bedeutung des Faktors relative Luftfeuchte. Allerdings können die im Labor bestimmten unteren Grenzwerte der relativen Luftfeuchte und die danach zu erwartende biotopmäßige Verteilung der Arten, die JAKOVLEV (1959) durch Messungen in verschiedenen Biotopen stützt, nicht als reale Verbreitungsgrenzen betrachtet werden. Bereits KALTENBACH (1963) weist auf widersprüchliche Aussagen von JAKOVLEV (1959) bei der Beurteilung von *Chorthippus parallelus* hin und betont, daß sich eine einheitliche Untergrenze von 66% relativer Luftfeuchte für die Art nicht geben läßt. Es dürfte sich um einen Durchschnittswert handeln, der häufig über- beziehungsweise unterschritten wird, da *Chorthippus parallelus* im pannonischen Raum Österreichs sowohl an sehr trockenen als auch nassen Orten auftritt. Ein Vergleich mit Abbildung 9 (Seite 35, Tagesgangmessungen Rodderberg 13.VIII.1973) stützt die Ansichten KALTENBACHs. Am Meßtag auf dem Rodderberg wurden die von JAKOVLEV (1959) ermittelten 66% relative Luftfeuchte für etwa 10 Stunden und bis zu 35% unterschritten. Die Verteilung in den Arealgruppen III bis VIII (Abbildung 23, Seite 85) zeigt weiterhin, daß mikroklimatisch sehr unterschiedliche Biotope von *Chorthippus parallelus* besiedelt werden können, wobei Areale mit mittlerer Milieu-feuchte jedoch erkennbar bevorzugt werden. Entsprechend müssen auch die zu weiteren Arten von JAKOVLEV & KRÜGER (1954) und JAKOVLEV (1956, 1959, 1961) gegebenen Daten zu Temperaturpräferenzen, Luftfeuchtigkeitsgrenzwerten und

Transpirationsregulation beurteilt werden, wenn sie zur Diskussion der unterschiedlichen Verteilung der Arten im Freiland herangezogen werden sollen. Die Fähigkeit, den Wasserverlust durch Nahrungsaufnahme ausgleichen zu können (GANGWERE 1960, BEIER 1972, nach verschiedenen Autoren), ermöglicht sowohl Caeliferen als auch Ensiferen extrem trockenheiße Sommer zu überdauern und Biotope zu besiedeln, in denen über einen längeren Zeitraum die Transpiration nicht mehr reguliert werden kann und der Wasserverlust der Tiere entsprechend hoch ist. Der Wassergehalt von 18 von mir daraufhin untersuchten Caeliferen- beziehungsweise Ensiferenarten liegt im Mittel bei 69 beziehungsweise 71% des Körpergewichtes (die Daten zu den einzelnen Arten sind Tabelle VI im Anhang, Seite 121 zu entnehmen), als kritisch angesehen werden muß ein Absinken auf Werte um 60%. LUDWIG (1937) ermittelte als lebensnotwendigen Mindestwassergehalt von *Chortophaga viridifasciata* DE GEER 56,1 bis 58,8%, nach BLACKITH (1961, zitiert nach BEIER 1972) ist ein Absinken auf 63% für *Locusta*, *Schistocerca* und *Nomadacris* bereits tödlich.

Unter der Voraussetzung, daß die Befunde von JAKOVLEV (1956, 1959, 1961) für alle Saltatorien des Untersuchungsgebietes Gültigkeit haben und die Caeliferen physiologisch an die relative Luftfeuchte, die Ensiferen dagegen an die Temperatur ihrer Lebensräume angepaßt sind, kann festgestellt werden, daß die verschiedenen Anpassungsformen keine sichtbaren Unterschiede in der Verteilung der Arten im Gelände bewirken. Die ökologischen Potenzen von Arten beider taxonomischer Gruppen können sehr weitgehend übereinstimmen, wie den Ergebnissen der Cluster Analyse (Abbildung 23, Seite 85) und der interspezifischen Ähnlichkeitskoeffizienten (Abbildung 12, Seite 48) zu entnehmen ist. Ein Grund dafür ist sicherlich die starke Bindung der relativen Luftfeuchte an die Temperatur (vergleiche hierzu Abschnitt 4., Seite 33), so daß die Caeliferen indirekt ebenfalls an die typischen Biotoptemperaturen angepaßt sind.

Nichtklimatologische Umweltfaktoren können die Verteilung einzelner Arten dahingehend beeinflussen, daß eine Abhängigkeit vom Mikroklima vorgetäuscht wird (vergleiche Abschnitt 7.). So konnte RÖBER (1951) nachweisen, daß *Conocephalus dorsalis* (LATR.) in hohem Maße trockenresistent ist, obwohl ihre Verbreitung auf eine ausgeprägte Hygrophilie schließen ließ; augenscheinlich liegt aber nur eine Bindung an bestimmte Eiablageplätze oder bevorzugte Nahrungspflanzen vor. Eine Bewertung der Arten mit Termini wie hygrophil, hygrobiont, thermophil, thermobiont und anderen sollte daher nur dann vorgenommen werden, wenn die Bevorzugung oder Bindung an bestimmte Faktorenintensitäten oder -kombinationen im gesamten Verbreitungsgebiet Gültigkeit hat und in ergänzenden Labortests nachgewiesen worden ist. Für regionale faunistische Untersuchungen ist die Beurteilung der ökologischen Potenzen der Arten daher besser anhand der Valenzen der Faktorenintensitäten und der verschiedenen Faktorkombinationen vorzunehmen, wie in den Abschnitten 7. und 8. dargestellt.

Die aufgezeigten Beziehungen zwischen der Verbreitung der Saltatorien und dem Mikroklima ihrer Lebensräume werden wesentlich durch das Regionalklima beeinflusst und gelten daher für den Bereich Siebengebirge/Rodderberg. In erster Linie sind Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge von Bedeutung für Dauer und Intensität der verschiedenen mikroklimatischen Zustände. Die Wertigkeiten der Faktoren und Faktorkombinationen sind daher nicht konstant, sondern ändern sich artspezifisch in Abhängigkeit vom Regionalklima. Ein bekanntes Beispiel ist *Oedipoda caerulea*, die im Burgenland nach FRANZ(1933) ziemlich häufig ist - also einen relativ großen mikroklimatischen Toleranzbereich besitzt -, in ihrem nördlichen Verbreitungsgebiet aber inselartig nur trockenheiße Biotope besiedelt - der Toleranzbereich ist wesentlich eingeengt. Von geringerem Einfluß auf die Biotopwahl scheint das unterschiedliche Regionalklima zum Beispiel für *Chorthippus montanus* zu sein, die nur nasse Wiesen oder andere Biotope mit ho-

her Milieufeuchte besiedelt, ihr Toleranzbereich ist im gesamten Verbreitungsgebiet etwa gleich eng. Im deutlichen Gegensatz dazu reagiert *Omocestus viridulus* äußerst empfindlich auf regionalklimatische Unterschiede. Die Verteilung der Art ist im Siebengebirge stenotop und identisch mit der von *Chorthippus montanus*. Im nahegelegenen Rothaargebirge ist *Omocestus viridulus* jedoch nach RÖBER (1970) sehr häufig und tritt sowohl in extrem feuchten als auch ziemlich trockenen, vegetationsarmen Flächen zusammen mit xerophilen Arten auf. In Westfalen ist sie wiederum recht selten und nur in ausgesprochen feuchten Biotopen (RÖBER 1970). Der enge Toleranzbereich im Untersuchungsgebiet am nördlichen Ende des warmen Mittelrheintales weist auf das für die Art ungünstige Regionalklima hin. Für *Pholidoptera griseoptera* und *Chorthippus brunneus* dagegen sind die klimatischen Bedingungen hier besonders günstig, so daß ihr ökologischer Toleranzbereich auffällig weit ist. Beide Arten sind mit Abstand am häufigsten im Untersuchungsgebiet und können mit allen anderen Arten vergemeinschaftet sein. Insbesondere die ökologische Potenz der in der Literatur allgemein als xerophil bezeichneten *Chorthippus brunneus* muß im Siebengebirge anders beurteilt werden, da Larven und Imagines häufig auch in ausgesprochen nassen Biotopen nachgewiesen werden konnten und lediglich sowohl trockene als auch feuchte Wiesen mit völlig geschlossenen Vegetationsflächen in der Regel meiden.

Aus dem Einfluß unterschiedlicher Regionalklimata auf die biotopmäßige Verteilung lassen sich so weitere wichtige Rückschlüsse auf die ökologischen Ansprüche der Arten ziehen und es ergibt sich die Möglichkeit, ökologische Rassen ausfindig zu machen und gegeneinander abzugrenzen. In Art und Größe kann der Einfluß jedoch erst dann sicher beurteilt werden, wenn entsprechende Daten aus den verschiedenen Klimaregionen der Verbreitungsgebiete der einzelnen Arten vorliegen, die einen statistischen Vergleich der Valenzen von Faktoren und Faktorenkombinationen sowie der

interspezifischen Ähnlichkeitskoeffizienten zulassen.

## 10. Zusammenfassung

Arbeitsziel waren quantitative Aussagen über die Beziehungen zwischen der Verbreitung der Saltatorien und dem Mikroklima der im Siebengebirge und auf dem Rodderberg besiedelten Biotope. Mit Hilfe der dargestellten Methoden wurden Daten zur Saltatorienfauna und Umweltfaktoren gesammelt und ausgewertet, deren Ergebnisse objektiv zu beurteilen und untereinander sowie auch für andere Untersuchungsgebiete vergleichbar sind. Sie ermöglichen es, ökologische Rassen zu ermitteln und ihre charakteristischen Eigenschaften quantitativ zu beschreiben. Dabei wurde davon ausgegangen, daß experimentell ermittelte Vorzugstemperaturen und Vorzugsluftfeuchten nicht geeignet sind, die Verteilung der Arten im Gelände hinreichend zu erklären, da Luftfeuchte und Lufttemperatur großen täglichen, monatlichen und jährlichen Schwankungen unterliegen. Günstiger erschienen Umweltfaktoren, die in einem gewählten Untersuchungszeitraum eine genügend große Konstanz aufweisen und die in ihrer Gesamtheit das Mikroklima der Biotope beschreiben beziehungsweise es ausbilden. Die Bedeutung der ausgewählten Faktoren für das Klima der bodennahen Luftschicht wird an den Ergebnissen mikroklimatologischer Tagesgangmessungen erläutert.

Eine Analyse der Häufigkeitsverteilungen der Arten in Abhängigkeit von den berücksichtigten Faktoren ergab, daß jeder Faktor für sich Einfluß auf die Verbreitung nehmen kann, daß letztlich jedoch die Faktorenkombination entscheidend ist. Die Ergebnisse der Cluster Analyse, bei der faktoriell ähnliche Areale zu Gruppen zusammengefaßt werden, erlauben, die ökologisch verwandten Arten zu ermitteln, Aussagen über die bevorzugten Faktorenkombinationen zu machen sowie den einzelnen Arealgruppen - und damit

auch ihren unterschiedlichen Saltatorienfaunen - ein definiertes Mikroklima zuzuordnen. Nach der Zahl nicht besetzter Areale einer Gruppe kann beurteilt werden, inwieweit nicht faßbare Faktoren Einfluß auf die Verteilung der Arten nehmen. In diesem Zusammenhang werden die populationsdynamischen Aspekte der unterschiedlichen Verteilungen eingehend diskutiert.

Die Ergebnisse der Cluster Analyse und die aus der Berechnung interspezifischer Ähnlichkeitskoeffizienten gewonnenen Kenntnisse über die ökologischen Verwandtschaften zwischen den einzelnen Arten stimmen weitgehend überein. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die Beziehungen zwischen der Verteilung der Arten und dem Mikroklima ihrer Lebensräume durch die erfaßten Umweltfaktoren ausreichend beschrieben werden und daß mit der Cluster Analyse eine geeignete Methode zur Auswertung des umfangreichen Datenmaterials vorliegt. Abschließend wird geprüft, inwieweit sich die Befunde mit den aus der Literatur bekannten Ergebnissen decken und welchen Einfluß das Regionalklima auf die Verteilung der Arten nimmt.

11. Literaturverzeichnis

- BADEN, W., H. KUNTZE, J. NIEMANN, G. SCHWERTDFEGER & F.J. VOLLMER (1969): Bodenkunde, 430 S., Stuttgart.
- BEIER, M. (1972): Saltatoria (Grillen und Heuschrecken), in HELMCKE J.G., D. STARCK & H. WERMUTH, Handbuch der Zoologie, IV. Band: Arthropoda, 2. Hälfte: Insecta, 2. Teil: Spezielles, 217 S., Berlin.
- BLACKITH, R.E. (1961): The water reserve of hatchling locusts. - Comp. Biochem. Physiol., Lond., 3, 99-107.
- BROCKSIEPER, R. (1972): Faunistisch-ökologische Untersuchungen der Orthopteren (Blattoidea, Orthopteroidea, Dermapteroidea) der Naturschutzgebiete Siebengebirge und Rodderberg. - Diplomarbeit, Math. Nat. Fak. Univ. Bonn.
- BROCKSIEPER, R. (1976): Die Springschrecken (Saltatoria) des Naturparks Siebengebirge und des Naturschutzgebietes Rodderberg bei Bonn. - Decheniana 129, 85-91.
- BROCKSIEPER, R. (1977): Nachweis von *Barbitistes sericauda* (F.) und *Conocephalus discolor* THUNBG. im Naturpark Siebengebirge bei Bonn. - Decheniana 130, 127.
- CAMHI, J.M. (1969): Locust wind receptors. I. Transducers mechanics and sensory response. II. Interneurons in the cervical connective. III. Contribution to flight initiation and lift control. - J. exp. Biol. 50, 335-348, 349-362, 363-373.
- CHAPMAN, R.F. (1965): The behaviour of nymphs of *Schistocerca gregaria* in a temperature gradient with special reference to temperature preference. - Behaviour 24, 283-315.
- CHOUDHURI, J.C.B. (1958): Experimental studies on the choice of oviposition sites by two species of Chorthippus (Orthoptera: Acrididae). - J. Animal Ecol. 27, 201-216.

- DAHMEN, F.W., G. DAHMEN & W. HEISS (1976): Neue Wege der graphischen und kartographischen Veranschaulichung von Vielfaktorenkomplexen. - *Decheniana* 129, 145-178.
- DEUTSCHES METEOROLOGISCHES JAHRBUCH, Bundesrepublik Deutschland (1969), Offenbach am Main.
- DIGBY, P.S.B. (1955): Factors affecting the temperature excess of insects in sunshine. - *J. exp. Biol.* 32, 279-298.
- ENGELMAN, L. & S. FU (1973): Cluster analysis on cases (BMD P 2 M). In: DIXON, W.J. (Ed.) *Biomedical computer programs*, Berkeley, Los Angeles, London.
- FRANZ, H. (1931): Über die Bedeutung des Mikroklimas für die Faunenzusammensetzung auf kleinstem Raum. - *Z. Morph. Ökol. Tiere* 22, 587-626.
- FRANZ, H. (1933): Auswirkung des Mikroklimas auf die Verbreitung mitteleuropäischer xerophiler Orthopteren. - *Zoogeographica* 1, 549-565.
- GANGWERE, S.K. (1960): Notes on drinking and the need for water in Orthoptera. - *Can. Entomol.* 92, 911-915.
- GANGWERE, S.K. (1961): A monograph on food selection in Orthoptera. - *Trans. Amer. Ent. Soc.* 87, 67-230.
- GÄRDEFORS, D. (1966): Temperature-humidity "organ" experiments with three species of grasshopper belonging to the family of Acrididae. - *Ent. exp. & appl.* 9, 395-401.
- GEIGER, R. (1961): *Das Klima der bodennahen Luftschicht*. 4. Aufl. 646 S., Braunschweig.
- GEWECKE, M. (1975): The influence of the air-current sense organs on the flight behaviour of *Locusta migratoria*. - *J. comp. Physiol.* 103, 79-95.
- GYLLENBERG, G. (1969): The energy flow through a *Chorthippus parallelus* (ZETT.) population of a meadow in Tvärminne, Finland. - *Acta Zool. Fenn.* 123, 74 S.

- GYLLENBERG, G. (1974): A simulation model for testing the dynamics of a grasshopper population. - *Ecology* 55, 645-650.
- HAEUPLER, H. (1974): Statistische Auswertung von Punktrasterkarten der Gefäßpflanzenflora Süd-Niedersachsens. - *Scripta Geobotanica* 8, 141 S., Göttingen.
- HARZ, K. (1957): Die Geradflügler Mitteleuropas. 494 S., Jena.
- HARZ, K. (1969): Die Orthopteren Europas. I, 749 S., Den Haag.
- HARZ, K. (1975): Die Orthopteren Europas. II, 939 S., Den Haag.
- HELFERT, B. & K. SÄNGER (1975): Haltung und Zucht europäischer Heuschrecken (Orthoptera: Saltatoria) im Labor. - *Z. angew. Zool.* 62, 267-279.
- HERTER, K. (1953): Der Temperatursinn der Insekten. 378 S., Berlin.
- INGRISCH, S. (1976): Die Verbreitung von Orthoptera, Dermaptera und Blattaria im Vogelsberg. - *Mitt. dtsh. ent. Ges.* 34, 43-52.
- JAKOVLEV, V. (1956): Wasserdampfabgabe der Acridier und Mikroklima ihrer Biotope. - *Verh. Deutsch. Zool. Ges.*, 136-142.
- JAKOVLEV, V. (1959): Mikroklimatische Untersuchungen in einigen Acrididenbiotopen. - *Z. Morph. Ökol. Tiere* 48, 89-101.
- JAKOVLEV, V. (1961): Transpiration und Vorzugstemperatur einiger Grillenarten. - *Verh. Deutsch. Zool. Ges.*, 92-96.
- JAKOVLEV, V. & F. KRÜGER (1953): Vergleichende Untersuchungen zur Physiologie der Transpiration der Orthopteren. - *Zool. Jb.* 64, 392-428.
- JAKOVLEV, V. & F. KRÜGER (1954): Untersuchungen über die

Vorzugstemperatur einiger Acrididen. - Biol. Zbl. 73, 633-650.

- KALTENBACH, A. (1963): Milieufeuchtigkeit, Standortbeziehungen und ökologische Valenz bei Orthopteren im pannonischen Raum Österreichs. - Sitz.ber. Österr. Akad. Wiss., Abt.1 172, 97-119.
- KAUFMANN, T. (1965): Biological studies on some bavarian Acridoidea. - Ann. Ent. Soc. Am. 58, 791-801.
- KENNEDY, J.S. (1949): A preliminary analysis of oviposition behaviour by *Locusta* (Orthoptera, Acrididae) in relation to moisture. - Proc. R. Ent. Soc. London (A) 24, 83-89.
- KHALIFA, A. (1956): The egg-pods of some egyptian grasshoppers and the preference of females for soils of different moisture contents. - Bull. Soc. Entom. Egypte 40, 175-186.
- KNOCH, K. (1963): Landesklimaaufnahme, Wesen und Methodik. - Ber. Deutsch. Wetterd. 12, Nr.85, 64 S.
- KÜHNELT, W. (1933): Kleinklima und Landtierwelt. - Zoogeographica 1, 566-572.
- KÜMMEL, K. (1938): Floristisch-soziologische Streifzüge durch die Umgebung von Bonn. 1. Über die Pflanzenwelt vulkanischer Böden. - Decheniana 97 B, 189-218.
- KÜMMEL, K. & A. HAHNE (1953, 1954): Die Vegetation des Siebengebirges. - Im Selbstverlag des Naturhist. Ver. Rheinl. Westf. 1 118 S., 2 102 S.
- LASPEYRES, H. (1900): Das Siebengebirge am Rhein. - Verh. Naturhist. Ver. Rheinl. Westf. 57, 119-596.
- LUDWIG, D. (1937): The effect of different relative humidities on respiratory metabolism and survival of the grasshopper *Chortophaga viridifasciata* DE GEER. - Physiol. Zool. 10, 342-351.
- MASAKI, S. (1962): The influence of temperature on the in-

tensity of diapause in the eggs of the emma field cricket (Orthoptera: Gryllidae). - Kontŷu 30, 9-16.

MORIARTY, F. (1969): Water uptake and embryonic development in eggs of Chorthippus brunneus THUNBERG (Saltatoria: Acrididae). - J. Exp. Biol. 50, 327-333.

NAGY, B. (1944): Die Heuschreckenwelt der Puszta Hortobágy I (Ung.) - Acta sc. Math. Nat. Univ. Franc.-Jos. Kolozsvár 26, 61 S.

NIELSEN, E.T. (1938): Zur Ökologie der Laubheuschrecken. - Entomologische Meddelelser 20, 121-164.

PÅHLSSON, L. (1974): Relationship of soil, microclimate, and vegetation on a sandy hill. - Oikos 25, 21-34.

PICKFORD, R. (1966): The influence of date of oviposition and climatic conditions on hatching of Camnula pelucida (SCUDDER) (Orthoptera: Acrididae). - Can. Entomol. 98, 1145-1159.

REMMERT, H. (1960): Über tagesperiodische Änderungen des Licht- und Temperaturpräferendums bei Insekten (Untersuchungen an Cicindela campestris and Gryllus domesticus). - Biol. Zbl. 79, 577-584.

RICHARDS, O.W. & N. WALOFF (1954): Studies on the biology and population dynamics of British grasshoppers. - Anti-Locust Bull. 17, 1-182.

RICHTER, M. (1942): Geologie des Rodderberges südlich von Bonn. - Decheniana 101, 1-24.

RIEGERT, P.W., R.A. FULLER & L.G. PUTNAM (1954): Studies on dispersal of grasshoppers (Acrididae) tagged with phosphorus-32. - Can. Entomol. 86, 223-232.

RÖBER, H. (1949): Insekten als Indikatoren des Mikroklimas. - Naturwiss. Rundsch. 11, 496-499.

RÖBER, H. (1951): Die Dermapteren und Orthopteren Westfalens in ökologischer Betrachtung. - Abh. Landesmus. Naturkd. Münster Westf. 14, 1-60.

- RÖBER, H. (1970): Die Saltatorienfauna montan getönter Waldgebiete Westfalens unter besonderer Berücksichtigung der Ensiferenverbreitung. - Abh. Landesmus. Naturkd. Münster Westf. 32, 1-28.
- SACHS, L. (1972): Statistische Methoden. 2. Aufl., 105 S., Berlin.
- SCHMIDT, G.H. (1970): Insekten als Indikatoren des Mikroklimas. - Naturwiss. u. Medizin 35, 41-50.
- SCHMIDT, G.H. & J. BÜHL (1970): Biotopmäßige Verteilung der Orthopteren-Gemeinschaften in der Umgebung eines französischen Alpensees (Lac du Bourget). - Zool. Beitr. N.F. 16, 1-72.
- SCHMIDT, G.H. & A. SCHLAGBAUER (1965): Die Orthopterenfauna und Pflanzengesellschaften der Kahlschläge des Arbergebietes im Bayerischen Wald, mit einem Beitrag zum Problem der Makropterie. - Z. Morph. Ökol. Tiere 54, 643-668.
- SCHMIDT, G.H. & E.F. SCHULZE (1961): Ökologische Untersuchungen zur Orthopterenfauna des Rhöngebirges. - Abh. Naturwiss. Ver. Würzburg 2, 41-60.
- SCHWERDTFEGER, F. (1963): Autökologie. 461 S., Hamburg und Berlin.
- SCHWERDTFEGER, F. (1968): Demökologie. 448 S., Hamburg und Berlin.
- SMALLEY, A.E. (1960): Energy flow of a salt marsh grasshopper population. - Ecology 41, 672-677.
- STRELNIKOV, J.D. (1936): Effect of solar radiation and the micro-climate upon the body temperature and the behaviour of the larvae of *Locusta migratoria* L. (Russ.) - Trav. Inst. Zool. Acad. Sci. URSS 2 (1935), 637-733.
- TEICHMANN, H. (1958/59): Beitrag zur Ökologie der Heuschrecken in den Bayerischen Alpen (Orthoptera, Saltatoria). - Zool. Beitr. N.F. 4, 83-133.

- UVAROV, B. (1966): Grasshoppers and Locusts. I. Anatomy, physiology, development, phase polymorphism, introduction to taxonomy. 481 S., Cambridge.
- VRIES, D.M. DE (1954): Constellation of frequent herbage plants, based on their correlation in occurrence, - Vegetatio 5-6, 105-111.
- WALOFF, N. (1950): The egg pods of British short-horned grasshoppers (Acrididae). - Proc. R. ent. Soc. Lond. (A) 25, 115-126.
- WEBER, E. (1972): Grundriß der biologischen Statistik. 706 S., Stuttgart.
- WIEGERT, R.G. (1965): Energy dynamics of the grasshopper populations in old field and alfalfa field ecosystems. - Oikos 16, 161-176.
- ZIMIN, L.S. (1938): Les pontes des acridiens. Morphologie, classification et écologie.(Russ.) - Tabl. anal. Faune URSS 23, 83 S.

## 12. Anhang

### E n s i f e r a

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Phaneroptera falcata (PODA.)       | Ph. falc.  |
| Leptophyes punctatissima (BOSC.)   | L. punct.  |
| Tettigonia viridissima (L.)        | T. virid.  |
| Pholidoptera griseoptera (DE GEER) | Ph. gris.  |
| Platycleis albopunctata (GOEZE)    | Pl. albop. |
| Metrioptera brachyptera (L.)       | M. brach.  |
| Metrioptera bicolor (PHIL.)        |            |
| Metrioptera roeseli (HGB.)         | M. roes.   |
| Nemobius sylvestris (BOSC.)        | N. sylv.   |
| [ Barbitistes serricauda (F.) ]    |            |
| [ Conocephalus discolor THBG. ]    |            |
| [ Meconema thalassinum (DEG.) ]    |            |

### C a e l i f e r a

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Tetrix undulata (SOW.)         | T. undul.  |
| Tetrix bipunctata (L.)         | T. bip.    |
| Tetrix nutans HGB.             | T. nutans  |
| Oedipoda caerulescens (L.)     | Oe. caer.  |
| Omocestus viridulus (L.)       | O. virid.  |
| Chorthippus brunneus (THBG.)   | Ch. brunn. |
| Chorthippus biguttulus (L.)    | Ch. big.   |
| Chorthippus vagans (EV.)       | Ch. vagans |
| Chorthippus parallelus (ZETT.) | Ch. par.   |
| Chorthippus montanus (CHARP.)  | Ch. mont.  |
| Gomphocerus rufus (L.)         | G. rufus   |
| [ Tetrix subulata (L.) ]       |            |

Tabelle I: Liste der Saltatorienarten der Untersuchungsgebiete Siebengebirge und Rodderberg sowie die in Abbildung 12 (Seite 48) benutzten Abkürzungen. In eckigen Klammern die bei der Auswertung nicht berücksichtigten Arten.

| Neigung<br>Exposition | 0°   | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  | 60°  | 70°  | 80°  | 90°  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N                     | 1,00 | 0,93 | 0,85 | 0,74 | 0,61 | 0,47 | 0,34 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
| NE/NW                 | 1,00 | 0,96 | 0,91 | 0,83 | 0,75 | 0,66 | 0,61 | 0,55 | 0,50 | 0,44 |
| E/W                   | 1,00 | 0,99 | 0,95 | 0,92 | 0,87 | 0,84 | 0,79 | 0,74 | 0,69 | 0,64 |
| SE/SW                 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,77 | 0,71 |
| S                     | 1,00 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 0,98 | 0,92 | 0,84 | 0,76 |

Tabelle II: Korrekturfaktor  $f_1$   
Erläuterungen siehe Abschnitt 3.3.2.

| Neigung<br>Exposition | 0°   | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  | 60°  | 70°  | 80°  | 90°  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N                     | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,78 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| NE/NW                 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,83 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 |
| E/W                   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 |
| SE/SW                 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,88 | 0,80 | 0,73 | 0,65 |
| S                     | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |

Tabelle III: Korrekturfaktor  $f_2$   
Erläuterungen siehe Abschnitt 3.3.2.

|                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| (1) Ph.falc.    | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (2) L.punct.    | 0,568  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (3) T.virid.    | 0,742  | 0,487  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (4) Ph.gris.    | 0,297  | 0,545  | 0,346  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (5) Pl.albop.   | 0,491  | -0,146 | 0,124  | -0,196 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (6) M.brach.    | -0,154 | -0,165 | -0,109 | 0,000  | -0,088 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (7) M.bicol.    | 0,078  | 0,246  | 0,150  | 0,098  | -0,062 | -0,026 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (8) M.roes.     | -0,224 | -0,170 | -0,247 | 0,117  | -0,199 | 0,475  | -0,060 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (9) N.sylv.     | -0,072 | 0,072  | -0,124 | 0,355  | -0,013 | -0,124 | -0,088 | -0,281 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (10) T.undul.   | -0,136 | -0,196 | -0,304 | 0,092  | -0,003 | -0,028 | -0,112 | -0,173 | 0,475  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (11) T.nutans   | 0,450  | 0,115  | 0,616  | 0,172  | 0,491  | -0,046 | -0,032 | -0,105 | -0,153 | -0,195 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (12) T.bipun.   | 0,370  | -0,036 | -0,109 | -0,276 | 0,620  | -0,037 | -0,026 | -0,085 | 0,024  | 0,360  | -0,046 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |       |
| (13) Oe.caer.   | 0,297  | -0,122 | 0,223  | -0,027 | 0,778  | -0,050 | -0,035 | -0,114 | -0,053 | -0,211 | 0,640  | -0,050 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |       |
| (14) O.virid.   | -0,284 | -0,012 | -0,201 | 0,100  | -0,162 | 0,580  | -0,049 | 0,810  | -0,146 | -0,145 | -0,085 | -0,069 | -0,092 | 1,000  |        |        |        |        |        |       |
| (15) Ch.brunn.  | 0,311  | 0,045  | 0,089  | 0,263  | 0,325  | -0,153 | -0,022 | -0,473 | 0,384  | 0,710  | 0,260  | 0,212  | 0,098  | -0,230 | 1,000  |        |        |        |        |       |
| (16) Ch.bigutt. | 0,799  | 0,271  | 0,502  | 0,012  | 0,554  | -0,152 | 0,263  | -0,342 | 0,037  | -0,080 | 0,456  | 0,375  | 0,303  | -0,280 | 0,335  | 1,000  |        |        |        |       |
| (17) Ch.vagans  | 0,442  | -0,177 | 0,094  | -0,157 | 0,997  | -0,093 | -0,065 | -0,210 | 0,094  | -0,039 | 0,463  | 0,591  | 0,748  | -0,171 | 0,356  | 0,630  | 1,000  |        |        |       |
| (18) Ch.parall. | 0,500  | 0,313  | 0,635  | 0,012  | -0,292 | -0,152 | 0,263  | -0,281 | -0,306 | -0,459 | 0,142  | -0,152 | -0,203 | -0,280 | -0,107 | 0,435  | -0,314 | 1,000  |        |       |
| (19) Ch.mont.   | -0,260 | -0,121 | -0,184 | -0,022 | -0,148 | 0,628  | -0,045 | 0,919  | -0,210 | -0,108 | -0,078 | -0,063 | -0,084 | 0,865  | -0,311 | -0,256 | -0,157 | -0,256 | 1,000  |       |
| (20) G.rufus    | 0,692  | 0,412  | 0,641  | 0,246  | -0,162 | -0,192 | 0,209  | -0,428 | 0,137  | -0,067 | 0,365  | -0,192 | 0,026  | -0,284 | 0,233  | 0,546  | -0,199 | 0,735  | -0,322 | 1,000 |
|                 | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)    | (9)    | (10)   | (11)   | (12)   | (13)   | (14)   | (15)   | (16)   | (17)   | (18)   | (19)   | (20)  |

Tabelle IV: Die Ähnlichkeitskoeffizienten der 20 untersuchten Arten, Erläuterungen siehe Abschnitt 6., Seite 47.

Ensifera

|   |           | (Kl)      | (Pf)          | (Pr)      | (El)          | (Ov)      |      | (Kl)          | (Pf)      | (Pr)          | (El)      |               |           |               |      |      |     |      |      |      |
|---|-----------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|------|------|-----|------|------|------|
|   |           | ♀         |               |           |               |           |      | ♂             |           |               |           |               |           |               |      |      |     |      |      |      |
|   |           | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ |      | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ |      |      |     |      |      |      |
| Ph.falcata<br>n <sub>♀</sub> =34 n <sub>♂</sub> =29     | $\bar{x}$ | 19,8      | 0,25          | 19,0      | 0,10          | 3,7       | 0,05 | 21,5          | 0,12      | 4,7           | 0,05      | $\bar{x}$     | 17,6      | 0,14          | 18,9 | 0,11 | 3,6 | 0,06 | 20,9 | 0,11 |
| L.punctatiss.<br>n <sub>♀</sub> =9 n <sub>♂</sub> =9    | $\bar{x}$ | 17,4      | 0,30          | 15,2      | 0,17          | 3,1       | 0,13 | 2,1           | 0,09      | 6,9           | 0,10      | $\bar{x}$     | 13,5      | 0,37          | 14,2 | 0,20 | 2,8 | 0,07 | 3,6  | 0,15 |
| T.viridissima<br>n <sub>♀</sub> =6 n <sub>♂</sub> =4    | $\bar{x}$ | 35,3      | 0,40          | 25,8      | 0,52          | 7,7       | 0,19 | 48,8          | 0,61      | 23,9          | 0,63      | $\bar{x}$     | 32,7      | 0,43          | 24,3 | 0,69 | 7,4 | 0,22 | 42,8 | 0,34 |
| Ph.griseoapt.<br>n <sub>♀</sub> =22 n <sub>♂</sub> =22  | $\bar{x}$ | 21,2      | 0,27          | 18,2      | 0,13          | 5,6       | 0,04 | 2,6           | 0,05      | 9,0           | 0,06      | $\bar{x}$     | 18,7      | 0,25          | 16,5 | 0,17 | 5,2 | 0,09 | 4,6  | 0,11 |
| P.albopunctata<br>n <sub>♀</sub> =15 n <sub>♂</sub> =16 | $\bar{x}$ | 21,3      | 0,49          | 19,5      | 0,21          | 5,2       | 0,05 | 21,2          | 0,39      | 8,9           | 0,10      | $\bar{x}$     | 19,3      | 0,19          | 18,0 | 0,21 | 4,8 | 0,03 | 20,4 | 0,33 |
| M.brachyptera<br>n <sub>♀</sub> =12 n <sub>♂</sub> =14  | $\bar{x}$ | 19,4      | 0,27          | 16,7      | 0,17          | 4,5       | 0,03 | 8,8           | 0,14      | 9,0           | 0,14      | $\bar{x}$     | 16,5      | 0,43          | 16,1 | 0,27 | 4,5 | 0,11 | 9,0  | 0,21 |
| M.bicolor<br>n <sub>♀</sub> =4 n <sub>♂</sub> =30       | $\bar{x}$ | 19,4      | 0,45          | 18,0      | 0,10          | 4,8       | 0,10 | 7,6           | 0,35      | 6,0           | 0,05      | $\bar{x}$     | 17,3      | 0,18          | 16,2 | 0,17 | 4,3 | 0,04 | 10,4 | 0,16 |
| M.roeseli<br>n <sub>♀</sub> =29 n <sub>♂</sub> =46      | $\bar{x}$ | 19,0      | 0,24          | 15,5      | 0,16          | 4,4       | 0,04 | 6,4           | 0,13      | 6,2           | 0,06      | $\bar{x}$     | 16,2      | 0,13          | 13,8 | 0,10 | 4,1 | 0,03 | 8,6  | 0,10 |
| N.sylvestris<br>n <sub>♀</sub> =24 n <sub>♂</sub> =27   | $\bar{x}$ | 12,3      | 0,19          | 6,9       | 0,06          | 2,1       | 0,02 | 2,7           | 0,07      | 6,8           | 0,08      | $\bar{x}$     | 10,9      | 0,14          | 6,3  | 0,06 | 1,9 | 0,02 | 4,0  | 0,05 |

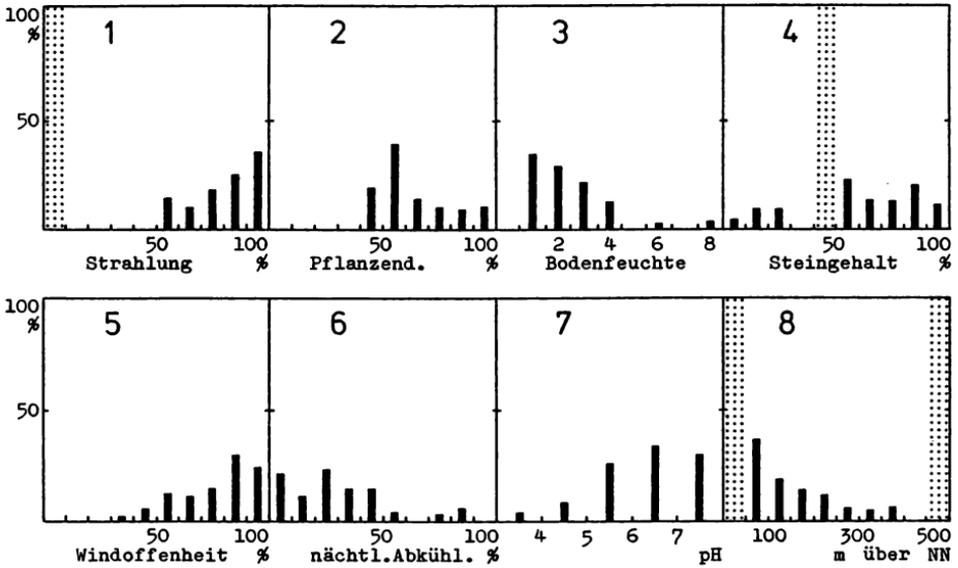
Caelifera

|  |           | (Kl)      | (Pf)          | (Pr)      | (El)          | (Schr)    |      | (Kl)          | (Pf)      | (Pr)          | (El)      | (Schr)        |           |               |      |      |     |      |      |       |
|--|-----------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|------|------|-----|------|------|-------|
|  |           | ♀         |               |           |               |           |      | ♂             |           |               |           |               |           |               |      |      |     |      |      |       |
|  |           | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ |      | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ | $\bar{x}$ | $s_{\bar{x}}$ |      |      |     |      |      |       |
| T.undulata<br>n <sub>♀</sub> =31 n <sub>♂</sub> =16    | $\bar{x}$ | 9,5       | 0,10          | 6,7       | 0,03          | 9,1       | 0,03 | .             | .         | .             | .         | $\bar{x}$     | 8,5       | 0,06          | 5,5  | 0,04 | 7,5 | 0,1  | .    | .     |
| Oe.caerulesc.<br>n <sub>♀</sub> =20 n <sub>♂</sub> =15 | $\bar{x}$ | 25,2      | 0,39          | 13,3      | 0,14          | 6,1       | 0,07 | 24,5          | 0,19      | .             | .         | $\bar{x}$     | 17,7      | 0,33          | 10,9 | 0,14 | 4,8 | 0,09 | 19,2 | 0,32  |
| O.viridulus<br>n <sub>♀</sub> =17 n <sub>♂</sub> =15   | $\bar{x}$ | 19,3      | 0,22          | 12,8      | 0,17          | 4,1       | 0,06 | 15,6          | 0,30      | 81,3          | 11,2      | $\bar{x}$     | 15,4      | 0,10          | 9,8  | 0,09 | 3,3 | 0,04 | 13,0 | 113,7 |
| Ch.brunneus<br>n <sub>♀</sub> =30 n <sub>♂</sub> =36   | $\bar{x}$ | 22,4      | 0,39          | 11,9      | 0,16          | 3,9       | 0,04 | 18,2          | 0,18      | 56,0          | 1,3       | $\bar{x}$     | 16,4      | 0,12          | 9,2  | 0,07 | 3,1 | 0,02 | 14,6 | 62,9  |
| Ch.biguttulus<br>n <sub>♀</sub> =37 n <sub>♂</sub> =27 | $\bar{x}$ | 19,6      | 0,23          | 10,7      | 0,11          | 3,6       | 0,03 | 15,2          | 0,10      | 88,4          | 1,2       | $\bar{x}$     | 15,2      | 0,13          | 8,6  | 0,09 | 2,9 | 0,04 | 12,6 | 95,7  |
| Ch.vagans<br>n <sub>♀</sub> =54 n <sub>♂</sub> =63     | $\bar{x}$ | 21,2      | 0,20          | 12,0      | 0,08          | 3,7       | 0,04 | 14,6          | 0,08      | 132,6         | 1,8       | $\bar{x}$     | 14,6      | 0,09          | 9,0  | 0,05 | 2,8 | 0,03 | 11,0 | 139,7 |
| Ch.parallelus<br>n <sub>♀</sub> =38 n <sub>♂</sub> =46 | $\bar{x}$ | 19,7      | 0,23          | 11,0      | 0,07          | 3,5       | 0,03 | 6,8           | 0,10      | .             | .         | $\bar{x}$     | 14,4      | 0,12          | 9,2  | 0,07 | 3,0 | 0,03 | 9,1  | 0,10  |
| Ch.montanus<br>n <sub>♀</sub> =33 n <sub>♂</sub> =39   | $\bar{x}$ | 21,2      | 0,24          | 12,1      | 0,11          | 3,7       | 0,03 | 10,0          | 0,18      | 124,0         | 3,4       | $\bar{x}$     | 15,6      | 0,11          | 9,9  | 0,07 | 2,9 | 0,02 | 11,2 | 131,6 |
| G.rufus<br>n <sub>♀</sub> =37 n <sub>♂</sub> =50       | $\bar{x}$ | 19,9      | 0,24          | 12,0      | 0,17          | 3,9       | 0,06 | 13,4          | 0,17      | .             | .         | $\bar{x}$     | 15,7      | 0,09          | 9,7  | 0,06 | 3,1 | 0,03 | 11,6 | 0,09  |

Tabelle V: Körpermaße von 18 untersuchten Saltatorien. Körperlänge (Kl), Postfemur (Pf), Pronotum (Pr), Elytren (El) und Ovipositor (Ov) in mm, Anzahl der Schrilzläpfchen (Schr). Weitere Erläuterungen siehe Abschnitt 3.8.

|                          | ♀/♂ | Brennwerte<br>cal/g (J/g)<br>Trocken-<br>substanz | Glüh-<br>rück-<br>stand<br>% | Lebend-<br>gewicht<br>mg/Indi-<br>viduum | Trocken-<br>gewicht<br>mg/Indi-<br>viduum | Wasser-<br>gehalt<br>% |
|--------------------------|-----|---|------------------------------|--|---|------------------------|
| <i>E n s i f e r a</i>   |     |   |                              |  |   |                        |
| <i>Ph. falcata</i>       | ♀   | 5655,0 (23 677)                                   | 4,6                          | 326,0                                    | 96,4                                      | 70,4                   |
|                          | ♂   | 5474,4 (22 920)                                   | 4,9                          | 212,0                                    | 55,8                                      | 73,6                   |
| <i>L. punctatissima</i>  | ♀   | 5591,9 (23 412)                                   | 5,8                          | 369,0                                    | 105,7                                     | 71,3                   |
|                          | ♂   | 5432,4 (22 745)                                   | 7,8                          | 145,0                                    | 37,6                                      | 74,1                   |
| <i>T. viridissima</i>    | ♀   | 5808,1 (24 318)                                   | 5,2                          | 1850,0                                   | 610,6                                     | 67,0                   |
|                          | ♂   | 5489,4 (22 983)                                   | 4,6                          | 1563,0                                   | 500,2                                     | 68,0                   |
| <i>Ph. griseoptera</i>   | ♀   | 5645,2 (23 636)                                   | 5,4                          | 681,0                                    | 201,9                                     | 70,4                   |
|                          | ♂   | 5296,1 (22 174)                                   | 5,8                          | 473,5                                    | 121,2                                     | 74,4                   |
| <i>P. albopunctata</i>   | ♀   | 5617,9 (23 521)                                   | 6,2                          | 589,0                                    | 190,2                                     | 67,7                   |
|                          | ♂   | 5367,4 (22 472)                                   | 5,7                          | 386,5                                    | 105,6                                     | 72,7                   |
| <i>M. brachyptera</i>    | ♀   | 5760,4 (24 118)                                   | 4,4                          | 388,0                                    | 127,2                                     | 67,2                   |
|                          | ♂   | 5468,3 (22 895)                                   | 3,2                          | 273,0                                    | 73,6                                      | 73,0                   |
| <i>M. bicolor</i>        | ♀   | 5647,2 (23 644)                                   | 4,9                          | 361,7                                    | 113,0                                     | 68,8                   |
|                          | ♂   | 5383,8 (22 541)                                   | 3,7                          | 255,5                                    | 70,7                                      | 72,3                   |
| <i>M. roeseli</i>        | ♀   | 5731,9 (23 999)                                   | 5,9                          | 341,7                                    | 107,3                                     | 68,6                   |
|                          | ♂   | 5416,6 (22 678)                                   | 4,1                          | 231,0                                    | 63,5                                      | 72,5                   |
| <i>N. sylvestris</i>     | ♀   | 5501,6 (23 034)                                   | 6,6                          | 108,2                                    | 32,1                                      | 70,3                   |
|                          | ♂   | 5494,4 (23 004)                                   | 4,5                          | 65,5                                     | 18,0                                      | 72,5                   |
| <i>C a e l i f e r a</i> |     |   |                              |  |   |                        |
| <i>T. undulata</i>       | ♀   | 5401,3 (22 614)                                   | 6,0                          | 48,1                                     | 15,0                                      | 68,8                   |
|                          | ♂   | 5365,7 (22 465)                                   | 6,5                          | 30,3                                     | 10,0                                      | 67,0                   |
| <i>Oe. caerulescens</i>  | ♀   | 5525,4 (23 134)                                   | 5,6                          | 675,3                                    | 217,1                                     | 67,9                   |
|                          | ♂   | 5390,7 (22 570)                                   | 4,0                          | 210,4                                    | 65,5                                      | 68,8                   |
| <i>O. viridulus</i>      | ♀   | 5452,7 (22 830)                                   | 4,7                          | 279,5                                    | 82,8                                      | 70,4                   |
|                          | ♂   | 5354,4 (22 418)                                   | 3,2                          | 103,2                                    | 31,7                                      | 69,3                   |
| <i>Ch. brunneus</i>      | ♀   | 5576,4 (23 348)                                   | 5,5                          | 272,8                                    | 86,4                                      | 68,3                   |
|                          | ♂   | 5449,2 (22 815)                                   | 3,8                          | 88,9                                     | 28,1                                      | 68,4                   |
| <i>Ch. biguttulus</i>    | ♀   | 5444,8 (22 977)                                   | 4,5                          | 206,3                                    | 65,7                                      | 68,1                   |
|                          | ♂   | 5327,5 (22 305)                                   | 4,4                          | 91,4                                     | 27,6                                      | 69,8                   |
| <i>Ch. vagans</i>        | ♀   | 5617,1 (23 518)                                   | 5,5                          | 273,6                                    | 87,8                                      | 67,9                   |
|                          | ♂   | 5347,5 (22 389)                                   | 3,1                          | 83,7                                     | 26,2                                      | 68,7                   |
| <i>Ch. parallelus</i>    | ♀   | 5459,1 (22 856)                                   | 4,4                          | 213,5                                    | 70,0                                      | 67,2                   |
|                          | ♂   | 5352,9 (22 412)                                   | 4,9                          | 79,9                                     | 24,1                                      | 69,9                   |
| <i>Ch. montanus</i>      | ♀   | 5506,0 (23 053)                                   | 3,8                          | 255,5                                    | 80,2                                      | 68,6                   |
|                          | ♂   | 5425,3 (22 715)                                   | 4,9                          | 92,7                                     | 27,8                                      | 70,0                   |
| <i>G. rufus</i>          | ♀   | 5618,9 (23 525)                                   | 4,6                          | 249,8                                    | 77,2                                      | 69,1                   |
|                          | ♂   | 5381,4 (22 531)                                   | 3,8                          | 94,9                                     | 28,3                                      | 70,2                   |

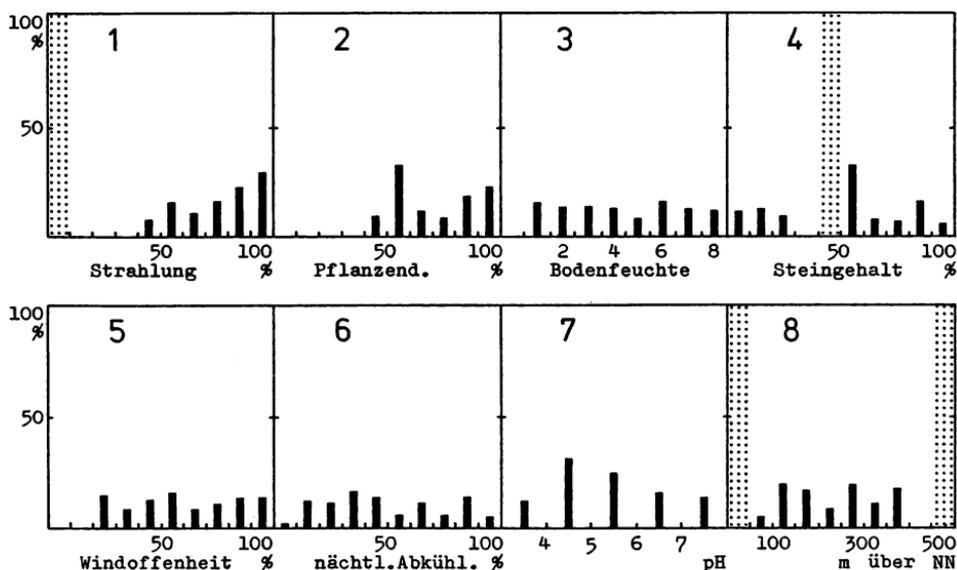
Tabelle VI: Brennwerte, Glührückstände, Lebend-Trockengewichte und Wassergehalt von 18 untersuchten Saltatorienarten. Weitere Erläuterungen siehe Kapitel 3.8.



|                                     |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{46;0,01} =  0,368 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | 0,222  | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{46;0,05} =  0,285 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | 0,064  | 0,472  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | -0,382 | -0,792 | -0,643 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,392  | 0,218  | -0,232 | -0,144 | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | 0,041  | 0,353  | 0,587  | -0,544 | -0,375 | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                  | (7)         | -0,137 | -0,115 | -0,148 | 0,130  | 0,176  | -0,348 | 1,000  |         |                         |
| m über NN                           | (8)         | -0,057 | -0,281 | 0,306  | 0,189  | -0,462 | 0,249  | -0,477 | 1,000   |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 48                               | $\bar{x}$ : | 80,8   | 63,3   | 2,4    | 61,2   | 76,9   | 30,4   | 6,3    | 162     |                         |
|                                     | s:          | 13,8   | 15,9   | 1,5    | 26,4   | 16,6   | 21,8   | 1,1    | 95      |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 5,3    | 6,2    | 0,6    | 10,2   | 6,4    | 8,4    | 0,4    | 36,8    |                         |

Abbildung I: Phaneroptera falcata (PODA.)

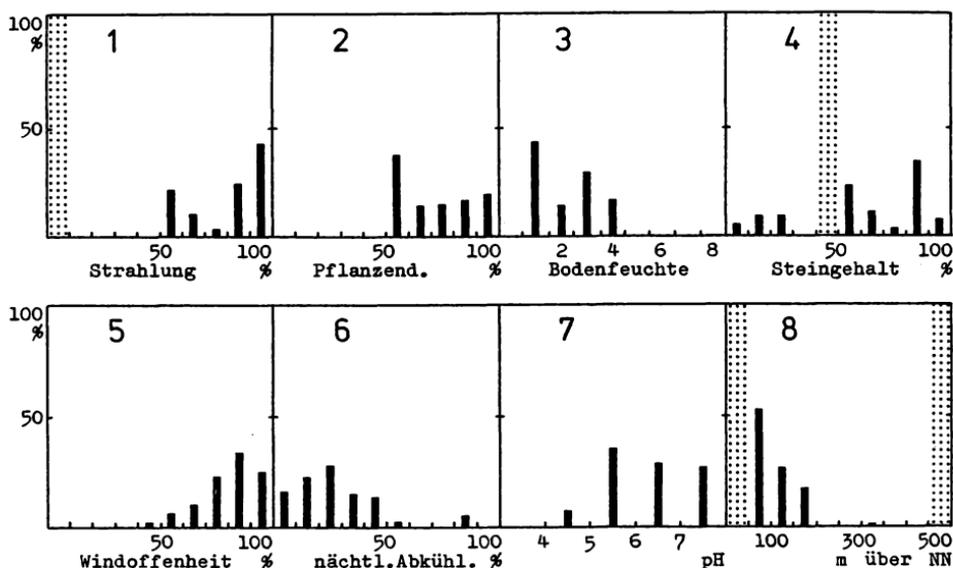
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{53;0,01} =  0,345 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | 0,113  | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{53;0,05} =  0,266 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | -0,396 | 0,563  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | -0,029 | -0,767 | -0,630 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,626  | -0,008 | -0,552 | 0,073  | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | -0,242 | 0,263  | 0,534  | -0,465 | -0,456 | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                  | (7)         | 0,051  | -0,284 | -0,439 | 0,322  | 0,343  | -0,434 | 1,000  |         |                         |
| m über NN                           | (8)         | -0,165 | 0,177  | 0,514  | -0,184 | -0,551 | 0,358  | -0,684 | 1,000   |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 55                               | $\bar{x}$ : | 76,9   | 71,0   | 4,3    | 51,9   | 59,2   | 49,9   | 5,4    | 238     |                         |
|                                     | s:          | 16,5   | 17,6   | 2,4    | 28,2   | 23,6   | 25,4   | 1,2    | 95,4    |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 5,9    | 6,3    | 0,9    | 10,2   | 8,5    | 9,1    | 0,4    | 34,3    |                         |

Abbildung II: Leptophyes punctatissima (BOSC.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                 |     |        |        |        |        |        |        |        |       |                         |
|-----------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------------------------|
| Strahlung       | (1) | 1,000  |        |        |        |        |        |        |       | $r_{27;0,01} =  0,471 $ |
| Pflanzend.      | (2) | 0,287  | 1,000  |        |        |        |        |        |       | $r_{27;0,05} =  0,367 $ |
| Bodenfeuchte    | (3) | 0,108  | 0,414  | 1,000  |        |        |        |        |       |                         |
| Steingehalt     | (4) | -0,595 | -0,671 | -0,563 | 1,000  |        |        |        |       |                         |
| Windoffenheit   | (5) | 0,351  | 0,423  | -0,234 | -0,281 | 1,000  |        |        |       |                         |
| nächtl. Abkühl. | (6) | 0,204  | 0,228  | 0,466  | -0,493 | -0,287 | 1,000  |        |       |                         |
| pH              | (7) | -0,328 | -0,125 | -0,093 | 0,189  | -0,064 | -0,453 | 1,000  |       |                         |
| m über NN       | (8) | 0,203  | 0,109  | 0,320  | -0,321 | -0,364 | 0,751  | -0,591 | 1,000 |                         |

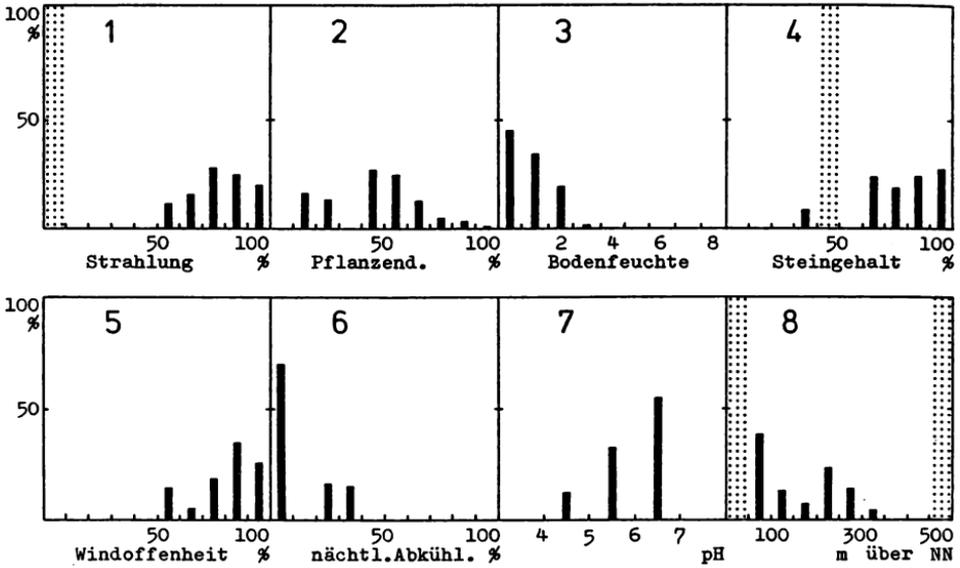
|  | (1)  | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7) | (8)     |
|--|------|------|------|--------|-------|------|-----|---------|
|  | Str. | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH  | m ü. NN |

|                                     |             |      |      |     |      |      |      |     |      |
|-------------------------------------|-------------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|
| n: 29                               | $\bar{x}$ : | 80,6 | 71,5 | 2,2 | 61,0 | 80,6 | 27,4 | 6,3 | 110  |
|                                     | s:          | 15,1 | 15,6 | 1,1 | 27,7 | 12,5 | 18,9 | 0,9 | 46,1 |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 8,2  | 8,0  | 0,6 | 14,2 | 6,4  | 9,7  | 0,5 | 23,7 |

Abbildung III: *Tettigonia viridissima* (L.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.

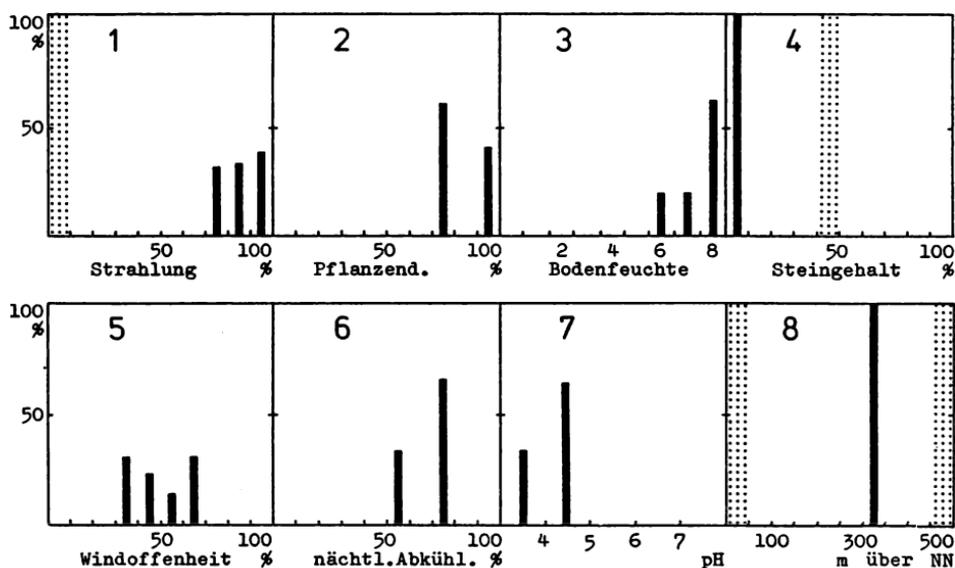




|                                     |             |        |        |        |        |        |       |        |         |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |       |        |         | $r_{18;0,01} =  0,561 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | -0,479 | 1,000  |        |        |        |       |        |         | $r_{18;0,05} =  0,444 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | 0,138  | 0,606  | 1,000  |        |        |       |        |         |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | -0,078 | -0,591 | -0,708 | 1,000  |        |       |        |         |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,161  | -0,129 | -0,143 | 0,278  | 1,000  |       |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | -0,022 | 0,191  | 0,219  | -0,224 | -0,805 | 1,000 |        |         |                         |
| pH                                  | (7)         | -0,417 | 0,438  | -0,042 | -0,332 | -0,322 | 0,201 | 1,000  |         |                         |
| m über NN                           | (8)         | 0,242  | -0,016 | 0,419  | -0,292 | -0,205 | 0,337 | -0,058 | 1,000   |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)   | (7)    | (8)     |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.  | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 20                               | $\bar{x}$ : | 77,7   | 44,8   | 0,8    | 77,4   | 80,4   | 12,4  | 5,9    | 160     |                         |
|                                     | s:          | 12,7   | 19,1   | 0,8    | 16,5   | 13,4   | 11,7  | 0,7    | 83      |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 11,0   | 12,3   | 0,5    | 10,6   | 8,6    | 7,5   | 0,5    | 54      |                         |

Abbildung V: *Platycleis albopunctata* (GOEZE)

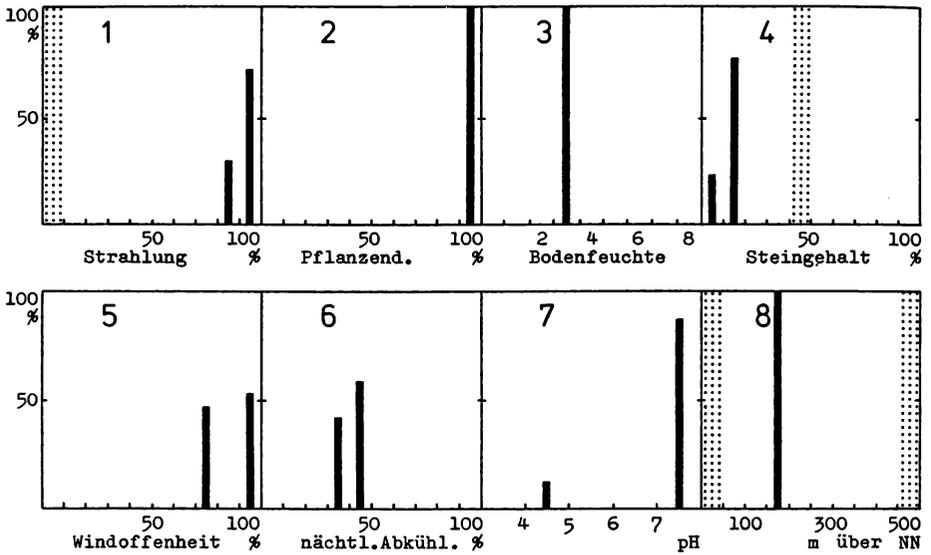
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|      | (1)                               | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7)  | (8)    |     |
|------|-----------------------------------|------|------|--------|-------|------|------|--------|-----|
|      | Str.                              | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH   | m ü.NN |     |
| n: 4 | $\bar{x}$ : 85,7                  | 83,0 | 7,4  | 5,0    | 49,6  | 68,3 | 4,2  | 325    |     |
|      | s: 8,3                            | 9,9  | 0,8  | 0,0    | 12,3  | 9,5  | 0,5  | 0,0    |     |
|      | 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : | 24,2 | 28,9 | 2,3    | 0,0   | 35,9 | 27,7 | 1,5    | 0,0 |

Abbildung VI: Metrioptera brachyptera (L.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



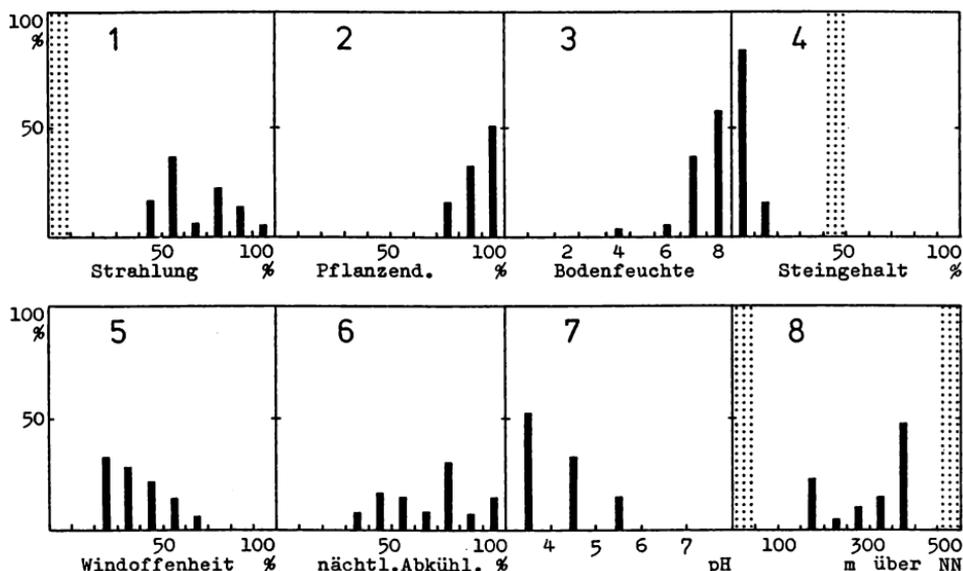
|  | (1)  | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7) | (8)     |
|--|------|------|------|--------|-------|------|-----|---------|
|  | Str. | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH  | m ü. NN |

n: 2

|             |      |      |     |      |      |      |     |     |
|-------------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|
| $\bar{x}$ : | 92,1 | 95,0 | 3,0 | 12,7 | 85,6 | 40,8 | 7,1 | 175 |
| s:          | 4,0  | 0,0  | 0,0 | 4,3  | 10,0 | 4,8  | 1,0 | 0,0 |

Abbildung VII: *Metrioptera bicolor* (PHIL.)

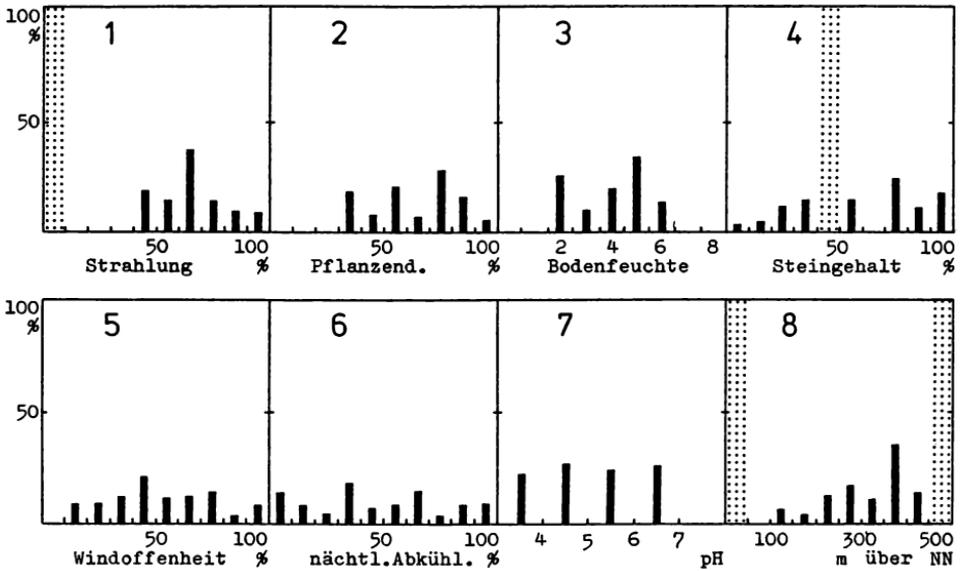
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Mittelwerte  $\bar{x}$  und Standardabweichungen s (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{16;0,01} =  0,590 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | -0,225 | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{16;0,05} =  0,468 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | 0,092  | 0,635  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | 0,178  | -0,668 | -0,624 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,599  | -0,316 | -0,090 | 0,322  | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | -0,068 | 0,044  | -0,091 | 0,329  | 0,125  | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                  | (7)         | -0,365 | 0,359  | 0,070  | -0,031 | -0,142 | 0,145  | 1,000  |         |                         |
| m über NN                           | (8)         | 0,482  | -0,029 | 0,380  | -0,171 | 0,237  | -0,085 | -0,637 | 1,000   |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 18                               | $\bar{x}$ : | 64,5   | 88,5   | 7,4    | 6,6    | 38,2   | 66,4   | 4,1    | 256     |                         |
|                                     | s:          | 15,2   | 7,5    | 0,8    | 3,7    | 12,3   | 18,6   | 0,7    | 81      |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 10,3   | 5,1    | 0,6    | 2,5    | 8,3    | 12,6   | 0,5    | 55      |                         |

Abbildung VIII: *Metrioptera roeseli* (HGB.)

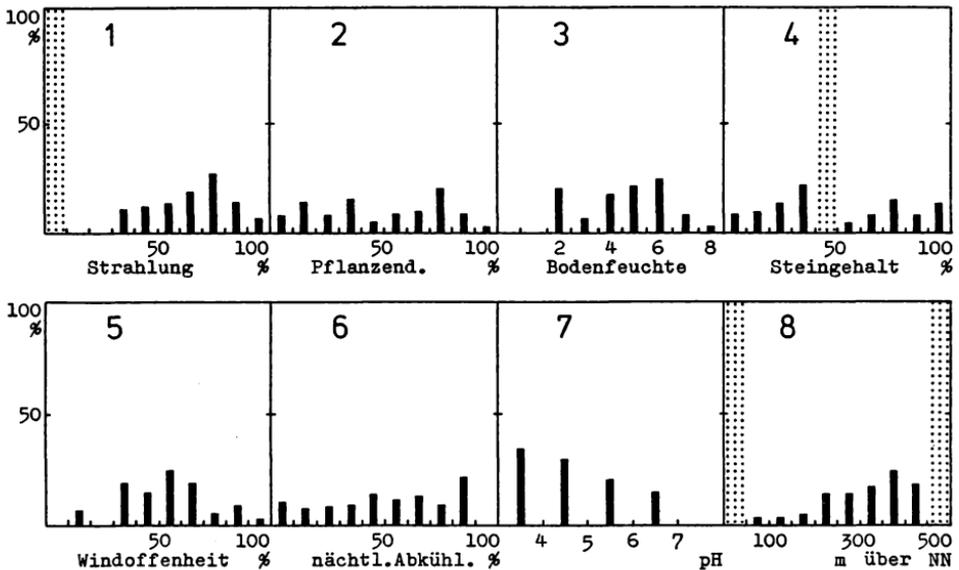
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  | $r_{31;0,01} =  0,442 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | 0,060  | 1,000  |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  | $r_{31;0,05} =  0,344 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | -0,602 | 0,408  | 1,000  |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | 0,008  | -0,708 | -0,520 | 1,000  |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,676  | -0,013 | -0,542 | 0,184  | 1,000  |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | -0,305 | 0,522  | 0,644  | -0,581 | -0,256 | 1,000  |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| pH                                  | (7)         | -0,114 | -0,327 | -0,193 | 0,399  | 0,098  | -0,332 | 1,000  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| m über NN                           | (8)         | 0,367  | 0,352  | -0,036 | -0,348 | 0,015  | 0,176  | -0,512 | 1,000   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| n: 33                               | $\bar{x}$ : | 65,8   | 63,5   | 4,0    | 59,7   | 52,7   | 45,8   | 5,0    | 319     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
|                                     | s:          | 14,6   | 18,4   | 1,4    | 28,1   | 23,0   | 28,8   | 1,1    | 85      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 6,9    | 8,8    | 0,7    | 13,4   | 10,9   | 13,7   | 0,5    | 41      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |

Abbildung IX: *Nemobius sylvestris* (BOSC.)

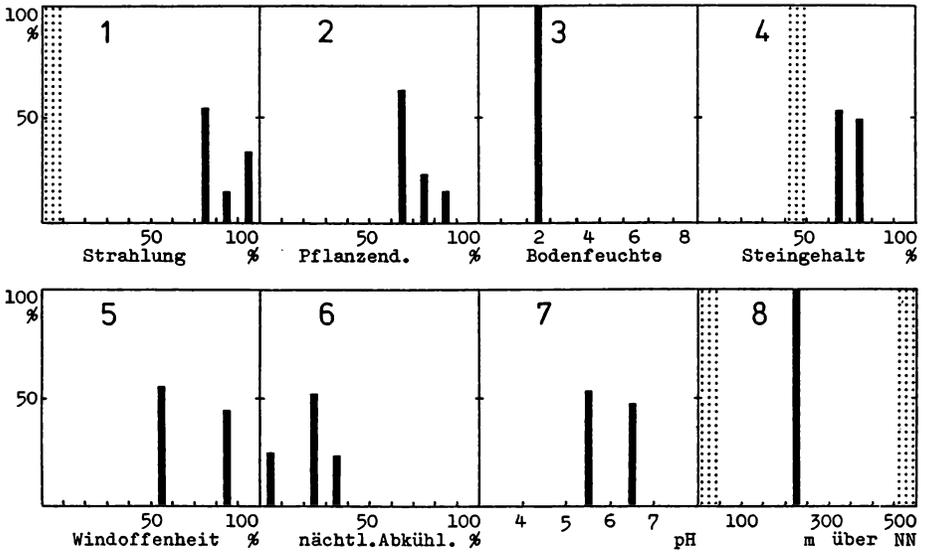
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------|-------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | $r_{51;0,01} =  0,351 $ |                         |
| Pflanzend.                          | (2)         | 0,271  | 1,000  |        |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         | $r_{51;0,05} =  0,271 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | -0,307 | -0,119 | 1,000  |        |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| Steingehalt                         | (4)         | -0,118 | -0,143 | -0,569 | 1,000  |        |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| Windoffenheit                       | (5)         | 0,466  | 0,014  | -0,301 | 0,055  | 1,000  |        |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | -0,152 | 0,111  | 0,565  | -0,669 | -0,252 | 1,000  |        |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| pH                                  | (7)         | 0,094  | 0,168  | -0,442 | 0,597  | -0,019 | -0,460 | 1,000  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| m über NN                           | (8)         | 0,111  | 0,094  | 0,168  | -0,345 | 0,152  | 0,318  | -0,505 | 1,000   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| n: 53                               | $\bar{x}$ : | 65,3   | 48,1   | 4,6    | 50,9   | 53,8   | 50,8   | 4,6    | 310     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
|                                     | s:          | 16,8   | 27,1   | 1,7    | 29,7   | 19,0   | 26,6   | 1,1    | 96      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 6,2    | 10,0   | 0,6    | 10,9   | 7,0    | 9,8    | 0,4    | 36      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                         |                         |

Abbildung X: Tetrax undulata (SOW.)

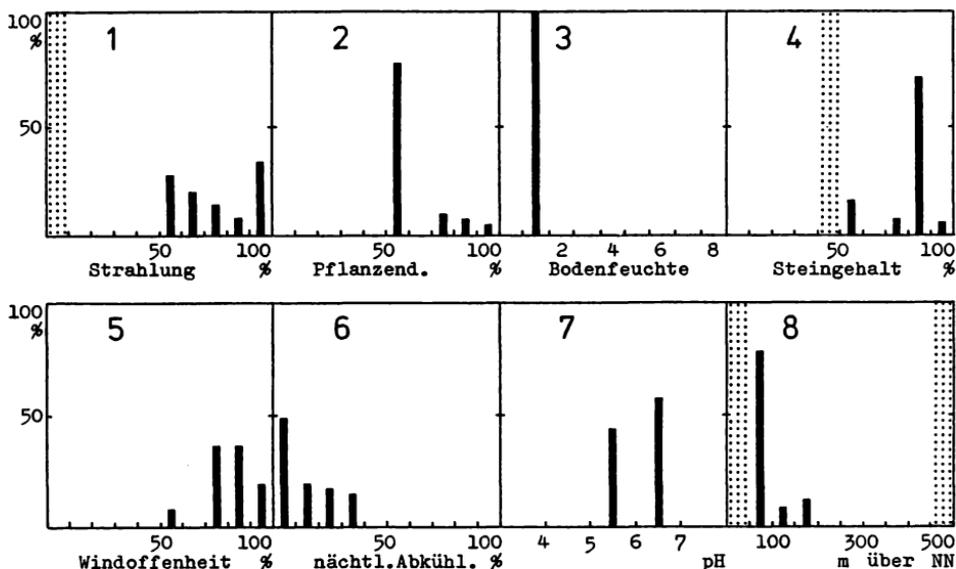
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|      | (1)                               | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7)  | (8)     |     |
|------|-----------------------------------|------|------|--------|-------|------|------|---------|-----|
|      | Str.                              | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH   | m ü. NN |     |
| n: 4 | $\bar{x}$ : 83,0                  | 70,3 | 2,0  | 69,8   | 68,2  | 22,4 | 6,0  | 225     |     |
|      | s: 9,0                            | 7,4  | 0,0  | 5,0    | 15,0  | 10,8 | 0,5  | 0,0     |     |
|      | 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : | 26,3 | 21,6 | 0,0    | 14,6  | 43,8 | 31,5 | 1,5     | 0,0 |

Abbildung XI: *Tetrax bipunctata* (L.)

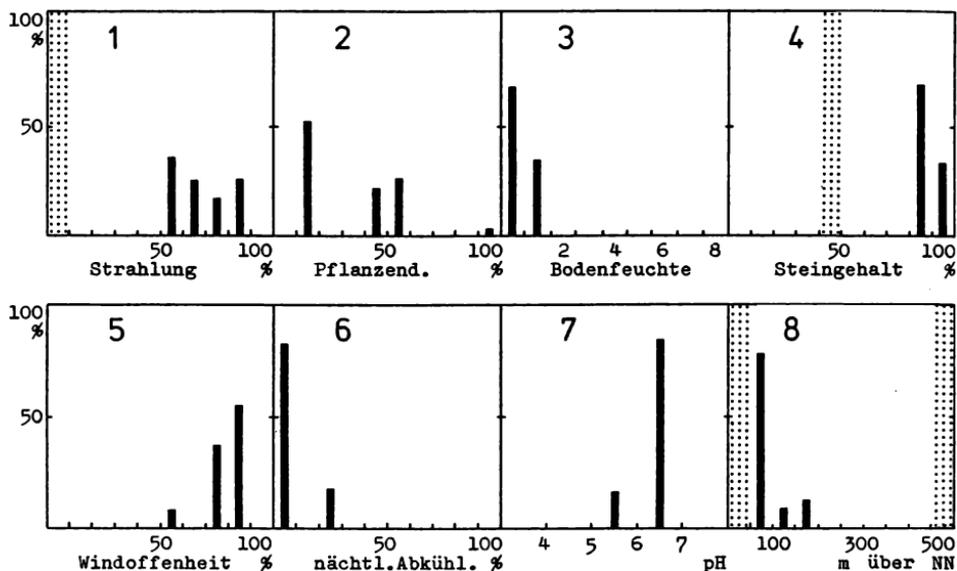
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |       |        |        |        |        |         |                        |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |       |        |        |        |        |         | $r_{4;0,01} =  0,917 $ |
| Pflanzend.                          | (2)         | -0,533 | 1,000  |       |        |        |        |        |         | $r_{4;0,05} =  0,811 $ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | 0,0    | 0,0    | 1,000 |        |        |        |        |         |                        |
| Steingehalt                         | (4)         | -0,557 | 0,165  | 0,0   | 1,000  |        |        |        |         |                        |
| Windoffenheit                       | (5)         | -0,220 | 0,637  | 0,0   | -0,174 | 1,000  |        |        |         |                        |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | 0,700  | -0,532 | 0,0   | -0,750 | -0,501 | 1,000  |        |         |                        |
| pH                                  | (7)         | -0,793 | 0,367  | 0,0   | 0,662  | -0,199 | -0,516 | 1,000  |         |                        |
| m über NN                           | (8)         | 0,731  | -0,254 | 0,0   | -0,771 | -0,190 | 0,872  | -0,743 | 1,000   |                        |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)   | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                        |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.  | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                        |
| n: 6                                | $\bar{x}$ : | 74,9   | 60,9   | 1,0   | 80,1   | 81,7   | 14,9   | 6,1    | 92      |                        |
|                                     | s:          | 16,3   | 11,9   | 0,0   | 11,5   | 10,6   | 11,3   | 0,5    | 34      |                        |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 26,8   | 19,6   | 0,0   | 18,9   | 17,4   | 18,6   | 0,8    | 57      |                        |

Abbildung XII: Tetrix nutans HGB.

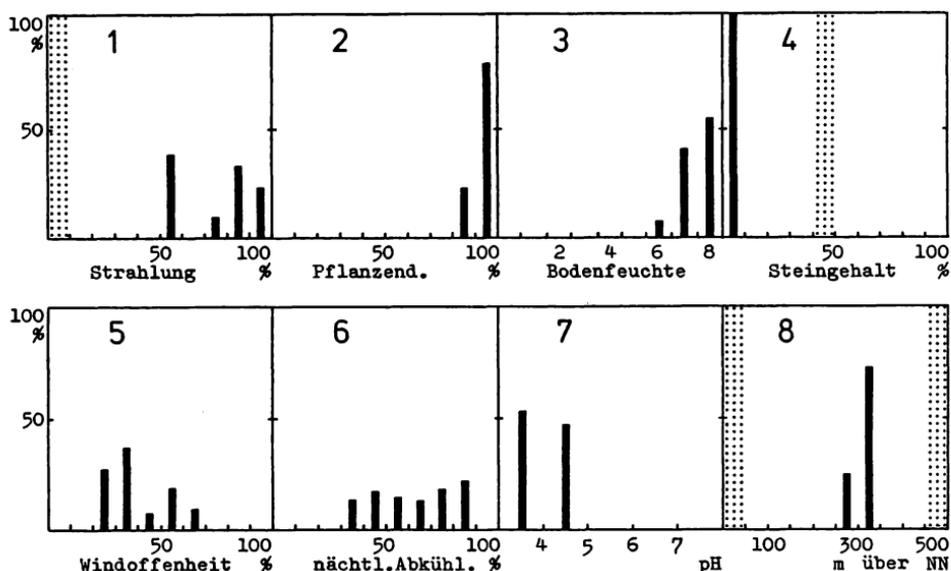
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                     |             |        |        |        |        |        |       |        |         |                        |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|------------------------|
| Strahlung                           | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |       |        |         | $r_{4;0,01} = 10,9171$ |
| Pflanzend.                          | (2)         | -0,899 | 1,000  |        |        |        |       |        |         | $r_{4;0,05} = 10,8111$ |
| Bodenfeuchte                        | (3)         | -0,543 | 0,817  | 1,000  |        |        |       |        |         |                        |
| Steingehalt                         | (4)         | 0,950  | -0,926 | -0,631 | 1,000  |        |       |        |         |                        |
| Windoffenheit                       | (5)         | -0,597 | 0,323  | -0,221 | -0,490 | 1,000  |       |        |         |                        |
| nächtl. Abkühl.                     | (6)         | 0,340  | -0,151 | 0,293  | 0,204  | -0,906 | 1,000 |        |         |                        |
| pH                                  | (7)         | -0,733 | 0,717  | 0,438  | -0,791 | 0,193  | 0,131 | 1,000  |         |                        |
| m über NN                           | (8)         | 0,669  | -0,577 | -0,313 | 0,636  | -0,749 | 0,701 | -0,058 | 1,000   |                        |
|                                     |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)   | (7)    | (8)     |                        |
|                                     |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.  | pH     | m ü. NN |                        |
| n: 6                                | $\bar{x}$ : | 68,4   | 33,8   | 0,3    | 88,2   | 79,0   | 8,5   | 6,3    | 92      |                        |
|                                     | s:          | 11,9   | 20,8   | 0,5    | 4,7    | 8,5    | 7,6   | 0,4    | 35      |                        |
| 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): |             | 19,6   | 34,2   | 0,8    | 7,7    | 14,0   | 12,5  | 0,7    | 57      |                        |

Abbildung XIII: *Oedipoda caerulescens* (L.)

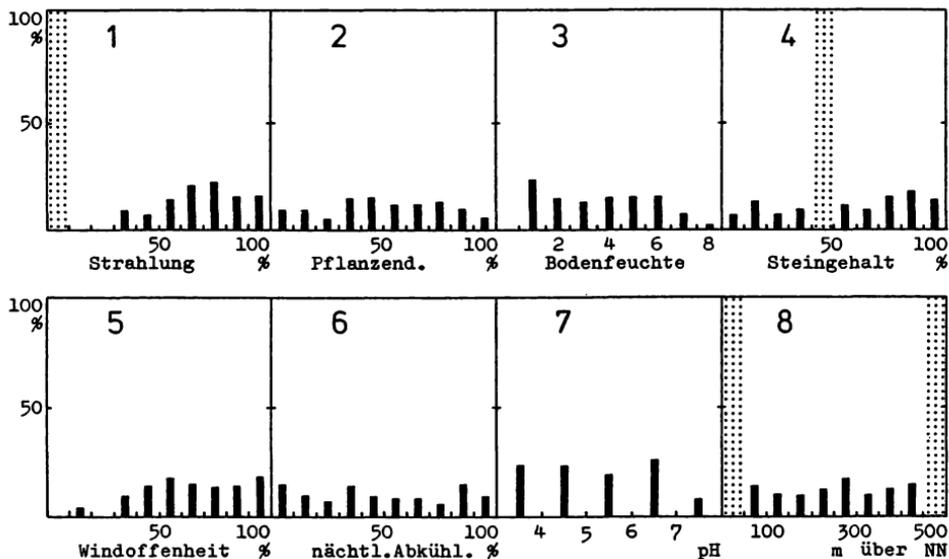
Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen  $s$  und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                   |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                         | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{10;0,01} = 10,7081$ |
| Pflanzend.                        | (2)         | -0,088 | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{10;0,05} = 10,5761$ |
| Bodenfeuchte                      | (3)         | -0,059 | 0,678  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                       | (4)         | 0,192  | -0,789 | -0,643 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                     | (5)         | 0,607  | -0,285 | -0,375 | 0,263  | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                   | (6)         | -0,035 | 0,282  | 0,433  | -0,137 | -0,226 | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                | (7)         | 0,180  | 0,491  | 0,216  | -0,526 | -0,093 | 0,133  | 1,000  |         |                         |
| m über NN                         | (8)         | -0,410 | 0,451  | 0,386  | -0,540 | -0,415 | -0,365 | -0,022 | 1,000   |                         |
|                                   |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                   |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 12                             | $\bar{x}$ : | 75,2   | 92,8   | 7,5    | 5,0    | 39,7   | 62,4   | 4,0    | 312     |                         |
|                                   | s:          | 16,6   | 4,2    | 0,6    | 0,0    | 13,2   | 17,6   | 0,5    | 26      |                         |
| 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : |             | 14,9   | 3,8    | 0,6    | 0,0    | 11,8   | 15,8   | 0,4    | 23      |                         |

Abbildung XIV: *Omocestus viridulus* (L.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



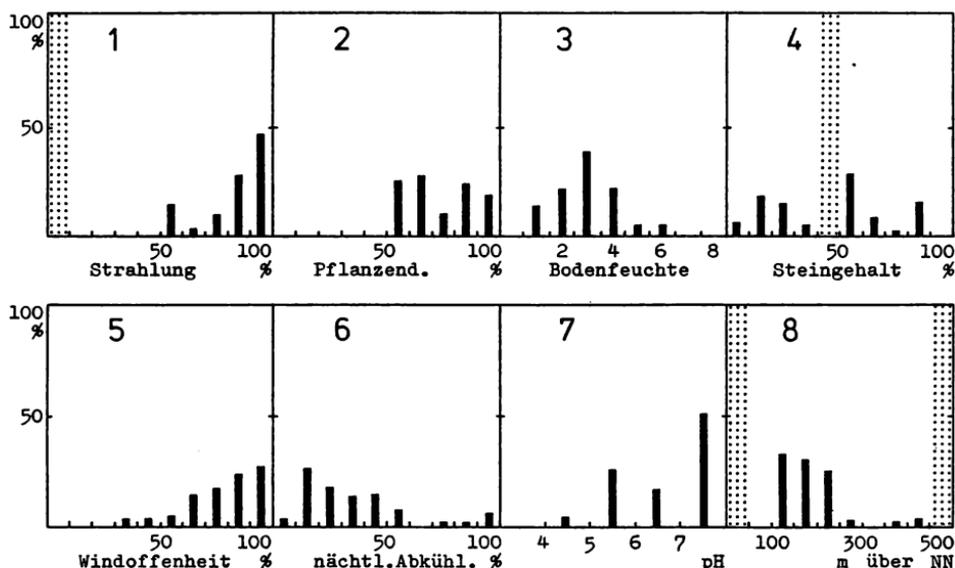
|                 |                                     |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-----------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung       | (1)                                 | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{92;0,01} = 10,2651$ |
| Pflanzend.      | (2)                                 | 0,164  | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{92;0,05} = 10,2031$ |
| Bodenfeuchte    | (3)                                 | -0,277 | 0,051  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt     | (4)                                 | -0,073 | -0,264 | -0,656 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit   | (5)                                 | 0,506  | 0,047  | -0,553 | 0,204  | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl. | (6)                                 | -0,198 | 0,136  | 0,649  | -0,645 | -0,511 | 1,000  |        |         |                         |
| pH              | (7)                                 | 0,119  | 0,077  | -0,485 | 0,403  | 0,165  | -0,531 | 1,000  |         |                         |
| m über NN       | (8)                                 | -0,152 | 0,049  | 0,475  | -0,320 | -0,309 | 0,522  | -0,572 | 1,000   |                         |
|                 |                                     | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                 |                                     | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 94           | $\bar{x}$ :                         | 68,9   | 49,4   | 3,6    | 57,0   | 65,1   | 49,0   | 5,2    | 258     |                         |
|                 | s:                                  | 18,1   | 26,1   | 2,0    | 30,1   | 21,5   | 30,1   | 1,3    | 117     |                         |
|                 | 99%VB von $\mu$ ( $=\bar{x} \pm$ ): | 4,9    | 7,1    | 0,6    | 8,2    | 5,8    | 8,2    | 0,4    | 31      |                         |

Abbildung XV: Chorthippus brunneus (THBG.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



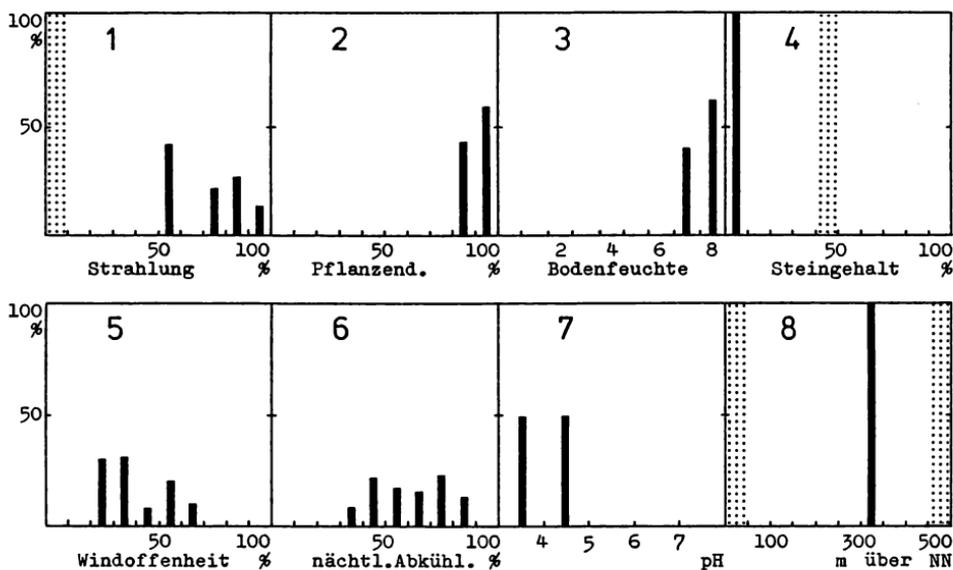




|                                   |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                         | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{46;0,01} =  0,368 $ |
| Pflanzend.                        | (2)         | 0,122  | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{46;0,05} =  0,285 $ |
| Bodenfeuchte                      | (3)         | -0,329 | 0,426  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                       | (4)         | -0,032 | -0,605 | -0,502 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                     | (5)         | 0,664  | 0,043  | -0,345 | -0,073 | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                   | (6)         | -0,451 | 0,158  | 0,379  | -0,182 | -0,603 | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                | (7)         | -0,061 | 0,029  | -0,005 | -0,132 | 0,014  | -0,145 | 1,000  |         |                         |
| m über NN                         | (8)         | -0,103 | -0,034 | 0,061  | 0,075  | -0,233 | 0,192  | -0,303 | 1,000   |                         |
|                                   |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                   |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 48                             | $\bar{x}$ : | 83,8   | 73,6   | 3,0    | 44,9   | 77,8   | 35,2   | 6,6    | 141     |                         |
|                                   | s:          | 14,6   | 14,7   | 1,2    | 26,2   | 16,4   | 22,9   | 1,0    | 73      |                         |
| 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : |             | 5,7    | 5,7    | 0,5    | 10,2   | 6,4    | 8,9    | 0,4    | 29      |                         |

Abbildung XVIII: Chorthippus parallelus (ZETT.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



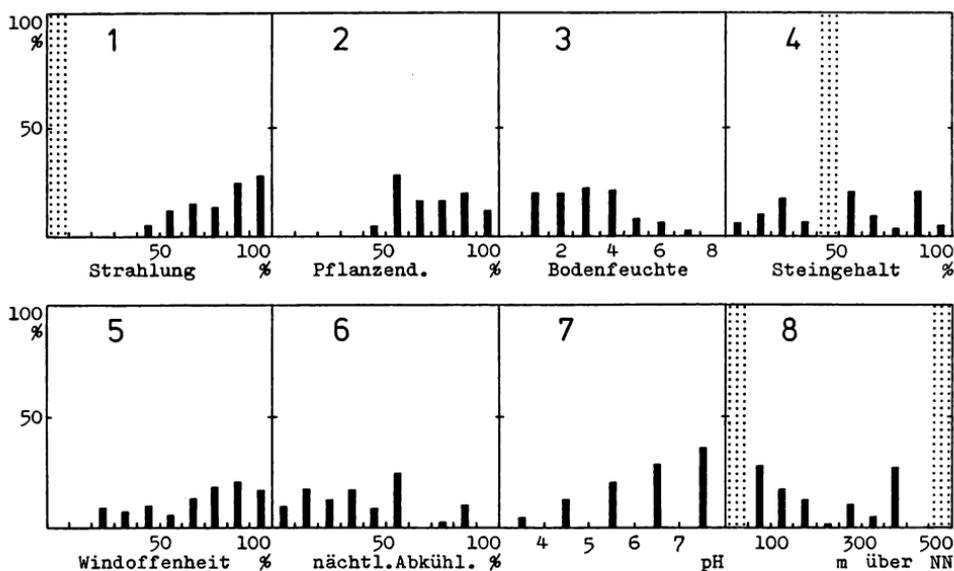
|                 |     |        |        |        |        |        |        |        |       |                        |
|-----------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------------------------|
| Strahlung       | (1) | 1,000  |        |        |        |        |        |        |       | $r_{8;0,01} =  0,765 $ |
| Pflanzend.      | (2) | -0,151 | 1,000  |        |        |        |        |        |       | $r_{8;0,05} =  0,632 $ |
| Bodenfeuchte    | (3) | 0,108  | 0,500  | 1,000  |        |        |        |        |       |                        |
| Steingehalt     | (4) | 0,151  | -1,000 | -0,500 | 1,000  |        |        |        |       |                        |
| Windoffenheit   | (5) | 0,639  | -0,369 | -0,410 | 0,369  | 1,000  |        |        |       |                        |
| nächtl. Abkühl. | (6) | 0,020  | 0,314  | 0,534  | -0,314 | -0,047 | 1,000  |        |       |                        |
| pH              | (7) | 0,190  | 0,586  | 0,130  | -0,586 | -0,043 | 0,060  | 1,000  |       |                        |
| m über NN       | (8) | -0,478 | 0,330  | 0,060  | -0,330 | -0,790 | -0,301 | -0,039 | 1,000 |                        |

|  | (1)  | (2)  | (3)  | (4)    | (5)   | (6)  | (7) | (8)     |
|--|------|------|------|--------|-------|------|-----|---------|
|  | Str. | Pfl. | B.f. | Stein. | Wind. | Abk. | pH  | m ü. NN |

|                                   |             |      |      |     |     |      |      |     |     |
|-----------------------------------|-------------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| n: 10                             | $\bar{x}$ : | 71,8 | 90,8 | 7,6 | 5,0 | 40,1 | 61,5 | 4,0 | 325 |
|                                   | s:          | 15,3 | 5,0  | 0,5 | 0,0 | 13,8 | 15,6 | 0,5 | 0,0 |
| 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : |             | 15,7 | 5,1  | 0,5 | 0,0 | 14,2 | 16,0 | 0,5 | 0,0 |

Abbildung XIX: Chorthippus montanus (CHARP.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.



|                                   |             |        |        |        |        |        |        |        |         |                         |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------------|
| Strahlung                         | (1)         | 1,000  |        |        |        |        |        |        |         | $r_{55;0,01} =  0,339 $ |
| Pflanzend.                        | (2)         | 0,248  | 1,000  |        |        |        |        |        |         | $r_{55;0,05} =  0,261 $ |
| Bodenfeuchte                      | (3)         | -0,212 | 0,219  | 1,000  |        |        |        |        |         |                         |
| Steingehalt                       | (4)         | -0,304 | -0,593 | -0,411 | 1,000  |        |        |        |         |                         |
| Windoffenheit                     | (5)         | 0,514  | 0,200  | -0,574 | -0,015 | 1,000  |        |        |         |                         |
| nächtl. Abkühl.                   | (6)         | -0,099 | 0,140  | 0,568  | -0,399 | -0,496 | 1,000  |        |         |                         |
| pH                                | (7)         | -0,036 | 0,029  | -0,346 | 0,128  | 0,331  | -0,375 | 1,000  |         |                         |
| m über NN                         | (8)         | -0,190 | -0,213 | 0,417  | 0,060  | -0,525 | 0,369  | -0,573 | 1,000   |                         |
|                                   |             | (1)    | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)     |                         |
|                                   |             | Str.   | Pfl.   | B.f.   | Stein. | Wind.  | Abk.   | pH     | m ü. NN |                         |
| n: 67                             | $\bar{x}$ : | 77,1   | 70,4   | 3,1    | 51,6   | 68,1   | 39,2   | 6,3    | 213     |                         |
|                                   | s:          | 16,1   | 15,2   | 1,6    | 27,8   | 22,2   | 23,3   | 1,2    | 122     |                         |
| 99%VB von $\mu (= \bar{x} \pm)$ : |             | 5,7    | 5,4    | 0,6    | 9,8    | 7,8    | 8,2    | 0,4    | 43      |                         |

Abbildung XX: *Gomphocerus rufus* (L.)

Ihre Beziehungen zu den erfaßten Umweltfaktoren. "Wahre" relative Häufigkeitsverteilungen (oben); Korrelationsmatrix der Faktoren, statistische Prüfgrößen  $r_{n-2;0,05}$  und  $r_{n-2;0,01}$ , Mittelwerte  $\bar{x}$ , Standardabweichungen s und die 99%igen Vertrauensbereiche (VB) für die Mittelwerte  $\mu$  der Grundgesamtheiten (unten). Die punktierten Flächen kennzeichnen Faktorenklassen, denen keine der 172 untersuchten Areale zugeordnet werden konnten.