Zeitschrift: Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Entomologique Suisse = Journal of the Swiss Entomological Society

Herausgeber: Schweizerische Entomologische Gesellschaft

Band: 47 (1974)

Heft: 1-2

Artikel: Devitationsrhythmen in bezug auf künstliche magnetische Felder

Autor: Schneider, Fritz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-401723

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MITTEILUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ENTOMOLOGISCHEN GESELLSCHAFT
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ ENTOMOLOGIQUE SUISSE
Band 47 (1974) Hefte 1–2

Devitationsrhythmen in bezug auf künstliche magnetische Felder

FRITZ SCHNEIDER
Eidg. Forschungsanstalt, CH-8820 Wädenswil

Devitation wird definiert als Vermeidung bestimmter Winkelbereiche in bezug auf Vektoren physikalischer Felder (devitatio = das Vermeiden). Anhand eines 19stündigen Versuchs wird gezeigt, dass Maikäfer *(Melolontha vulgaris* F.*)* bestimmte Richtungen in bezug auf künstliche magnetische Felder bevorzugen und andere meiden. Die zwei gemiedenen Sektorenpaare bewegen sich gleichförmig mit verschiedener Geschwindigkeit in entgegengesetztem Sinn. Diese Devitationsrhythmen ergeben sich aus dem Verhalten einer Gruppe von 75 Einzelindividuen mit ganz unterschiedlichem Alter, Herkunft und Vorgeschichte und beruhen auf systematisch variablen nichtmagnetischen ultraoptischen Informationen.

Auch dieser Versuch beweist, dass Aussagen über eine magnetische Orientierung und eine sog. «Biologische Uhr» der Tiere ohne Berücksichtigung des ganzen Komplexes ultraoptischer Informationsquellen (Melofelder) einer Nachprüfung bedürfen.

DEVITATIONRHYTHMS RELATIVE TO MAGNETIC FIELDS

Devitation is defined as avoidance of certain angles and ranges of angles relative to vectors of physical fields (devitatio = the avoidance). During an experiment lasting 19 hours cockchafers *(Melolontha vulgaris* F.*)* preferred and avoided certain directions relative to artificial magnetic fields. The two pairs of avoided sectors turned with constant but different speed clockwise and counter-clockwise. These devitationsrhythms result of the behaviour of 75 individuals with extremely different age, origin and treatment. They are due to systematically variable, non-magnetic, ultraoptic information. These results prove again that statements about magnetic orientation and the so-called «biological clock» of animals without taking into consideration the whole complex of ultraoptic information need careful verification.

1. Einleitung

Seit dem experimentellen Nachweis einer magnetischen Orientierung des Maikäfers *(Melolontha vulgaris* F.*)* im Jahre 1957 (1) konnte dieser Befund mit dem Drehtisch (2, 5) und vor allem mit dem Schalentest (2, 5, 7) immer wieder bestätigt werden (2, 3, 4, 7, 9). Dieses Versuchstier orientiert sich auch nach elektrostatischen Feldern (2, 3, 4, 6, 7) und nach den Vektoren weiterer, physikalisch noch nicht eindeutig identifizierter Felder, Wellen oder Strahlen (2, 6), die später unter der Bezeichnung «Melofelder» oder «Melostrahlen» zusammengefasst wurden (7, 11). Magnetische, elektrische und auf Melofeldern beruhende Einflüsse, die zu experimentell nachweisbaren Orientierungsreaktionen führen, gehören in die Kategorie der «ultraoptischen» Informationen (2, 3, 10).

Die Arbeiten zur physikalischen Identifizierung und Beschreibung der Melofelder sind noch nicht abgeschlossen. Möglicherweise handelt es sich um Gravitationswellen (7), die von irdischen und kosmischen Massen (Mond, Sonne) ausgehen und ein wirksames, kontinuierlich veränderliches Interferenzmuster erzeugen. Denn nur mit dieser Annahme lassen sich die auffällige ultraoptische Wirksamkeit 40 kg schwerer Bleimassen (7, 8), die Abhängigkeit der Bleiwirkung vom übrigen Massenverteilungsmuster im unterirdischen dickwandigen Versuchskeller und die geometrische Beziehung zwischen Phasenverschiebung in den circahoraren Aktivitätsrhythmen und dem lokalen Massenverteilungsmuster erklären (11, 13). Auch die circahoraren überindivi-

duellen Rhythmen als solche und die Orientierungsrhythmen mit kürzeren oder längeren Perioden sind kaum anders als mit der Wahrnehmung der gleichförmigen relativen Positionsänderungen von Mond und Sonne durch einen funktionell radiären, facettierten Rezeptor («Gravitationsauge») zu erklären (7, 8, 11). Mit ähnlicher Präzision werden minime relative Richtungsänderungen des Vektors eines magnetischen Feldes registriert (1, 7 «Noniuseffekt»).

Alle bisherigen Ergebnisse sprechen dafür, dass die Richtungswahl in den Glasschalen nicht zufällig erfolgt, sondern durch eine Vielzahl vektoriell bestimmter physikalischer Einflüsse determiniert ist. Die raumzeitliche Inhomogenität des Melofeldermusters (RIM) (11, 13), die in einer Zeitspanne von wenigen Minuten und zwischen zwei Punkten von wenigen cm Entfernung ultraoptische Informationen verändern kann, täuscht ein Chaos vor, in das nur eine spezielle Versuchstechnik Ordnung bringen kann.

Ultraoptische Orientierung heisst Richtungswahl bezüglich Vektoren physikalischer Felder (magnetische, elektrische, elektromagnetische, Melofelder). Eine symmetrische Ausrichtung der Körperachse zu den Vektoren manipulierbarer Felder ist möglich, jedoch wegen der komplexen Natur und zeitlichen Variabilität des gesamten Informationsmusters eine vorübergehende Ausnahme. Infolge der räumlichen Inhomogenität des Melofeldermusters ergibt sich automatisch auch eine grosse Streuung, wenn man sich nicht auf einen punktförmigen Beobachtungsort beschränkt. Diese Feststellung dürfte auch für andere Insekten zutreffen. Bei der für jede Beweisführung unumgänglichen Zusammenfassung mehrerer örtlich und zeitlich differierender Versuchsergebnisse erhält man im besten Fall eine Schar von bevorzugten Richtungen, die sich in einem Vorzugssektor zusammenfassen lassen. Trägt man die von den Käfern gewählten Richtungen als Punkte in ein Diagramm ein (Ordinate: Richtung, Abszisse: Zeit), dann lassen sich kontinuierliche Änderungen in der Richtungswahl als mehr oder weniger schräg stehende Streifen darstellen.

Nun darf man sich nicht vorstellen, der Maikäfer wähle im Schalentest frei zwischen indifferenten Richtungen und sinnesphysiologisch etwas attraktiveren Körperstellungen. Wenn dies der Fall wäre, würden die Tiere eine mehr oder weniger einheitliche, physiologisch bedingte Zeit benötigen, um sich nach ihrer Erwärmung auf Zimmertemperatur wieder zu beruhigen. Alle bisherigen Beobachtungen sprechen eher dafür, dass der Käfer in bestimmten Körperlagen so stark irritiert wird, dass eine Ruhestellung in nützlicher Frist überhaupt nicht in Frage kommt. Je mehr sich solche «verbotene» Richtungen und Sektoren ausdehnen, desto selektiver wird die ultraoptische Orientierung und desto höher steigt die Aktivität. In extremen Situationen bleiben die Käfer über zwei Stunden aktiv und müssen fortwährend ergebnislos ausgewechselt werden. So können beispielsweise besondere gegenseitige Winkelstellungen magnetischer und elektrischer Felder (3) oder Bleimassen an bestimmten Versuchsorten (8, Versuch 17) die Aktivität bedeutend erhöhen. Auch die circahoraren überindividuellen Aktivitätsrhythmen und die extrem erhöhte Aktivität in einzelnen Versuchsschalen oder in bestimmten Phasen eines 20stündigen Versuchs lassen sich nur mit einem zeitlich oder örtlich bedingten Überhandnehmen «verbotener» Sektoren erklären.

Sowohl aktive Vermeidung bestimmter «verbotener» Sektoren als auch eine Bevorzugung und positive Selektion führen zu Orientierungsreaktionen,

in diesem Fall zu einer Beschränkung auf bestimmte Sektoren des Richtungskreises. In vielen Fällen ist es kaum möglich zu entscheiden, welchem der beiden Typen ein Orientierungsmuster angehört, z.B. in einem Diagramm mit einer periodischen Folge besetzter und nicht besetzter paralleler Streifen, das einer kontinuierlichen Drehung eines gewählten und vernachlässigten Sektorenpaares entspricht. In andern Fällen, z.B. bei kontinuierlich gegenläufigen gemiedenen Sektoren ist der negative Aspekt der «verbotenen» Sektoren so auffällig, dass die ultraoptische Orientierung als Beschränkung auf Richtungen, die zwischen den «verbotenen» Sektoren noch übrigbleiben, definiert werden könnte. Dieses negative Verhalten wird in Zukunft als Devitation bezeichnet (devitatio = das Vermeiden) und ganz allgemein als Vermeidung bestimmter Winkelbereiche in bezug auf Vektoren physikalischer Felder definiert. Das folgende Beispiel soll dieses im ultraoptischen Bereich verbreitete Phänomen erläutern.

Herrn Dr. H. L. Le Roy, Professor für Biometrie und Populationsgenetik an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich verdanke ich wiederum die statistische Beurteilung der Versuchsergebnisse. Seine Befunde sind im Wortlaut beigefügt.

2. *Versuchstechnik*

Die Versuchstechnik ist schon mehrmals beschrieben worden (7, 9). Sie ist im Prinzip sehr einfach und kann wie folgt zusammengefasst werden: Die Maikäfer werden während ihrer Winterruhe vor dem Ausflug ausgegraben, sofort einzeln in Glasröhrchen gesteckt und in eine Eiskiste übertragen. Die weitere Aufbewahrung erfolgt bei hoher Luftfeuchtigkeit und etwa 1 °C. Im unterirdischen Versuchsraum herrscht diffuse Beleuchtung und eine konstante Temperatur von 20 °C. Hier werden die Tiere in kleine Glasdoppelschalen übertragen, die in bestimmter Anordnung im Raum verteilt sind. Durch Verdunklung der Schalen wird eine optische Orientierung ausgeschlossen. Nur während der kurzen Kontrollen in Abständen von 10 Minuten sind die Käfer dem diffusen Licht ausgesetzt. Durch die Erwärmung der Käfer von etwa 1° auf 20 °C werden die kältestarren Tiere aktiviert. Bevor sie sich wieder zur Ruhe setzen und die Fühler einziehen, laufen sie in der Schale kürzere oder längere Zeit umher. Die regelmässigen Kontrollen dienen dazu, festzustellen, ob die Tiere sich beruhigt haben und wenn dies der Fall ist, welche Himmelsrichtung die Körperachse einnimmt. Diese Richtung kann mit einem Linienmuster auf dem drehbaren Glasdeckel und einer Richtungsskala mühelos bestimmt werden. Sobald ein Käfer in zwei aufeinanderfolgenden Kontrollen ruhig sitzt und die gleiche Richtung einnimmt, gilt diese Position als definitive Ruhelage, der Einzelversuch wird abgebrochen und der Käfer durch einen neuen, kältestarren ersetzt. Solche Versuche laufen ununterbrochen 12 bis 18 Stunden oder länger. Mit Hilfe drehbarer Stabmagnete unter den Versuchstischen lassen sich in den Schalen künstliche magnetische Felder bekannter Vektorenrichtung erzeugen. Wenn es darum geht, die magnetische Orientierung von der azimutalen Richtungswahl zu trennen, bietet man die Vektoren des magnetischen Feldes in ganz verschiedenen Himmelsrichtungen an und verändert bei jedem Käferwechsel die Richtung des magnetischen Feldes auf Grund einer zufälligen Zahlenreihe. Nachträglich lässt sich die Richtungswahl in bezug auf das magnetische Feld aus der Himmelsrichtung der Körperachse

und der protokollierten Richtung des magnetischen Feldes leicht bestimmen. Weil sich die azimutale und magnetische Orientierung im Verlauf eines Versuchs systematisch ändern, werden die Ergebnisse in der Regel nicht in einem Kreisdiagramm, sondern in einem Punktdiagramm dargestellt. Jeder Punkt entspricht der Richtungswahl (Ordinate) und dem Zeitpunkt der Inaktivierung (Abszisse) eines einzelnen Individuums. Um eine höhere Punktdichte zu erreichen, können, entsprechend den Regeln der ultraoptischen Orientierung, die Ergebnisse in einem Halb- oder Viertelskreis zusammengefasst werden, d.h. Richtung und Gegenrichtung und gelegentlich sogar die Senkrechte dazu können als gleichwertig betrachtet werden. In solchen Punktdiagrammen tritt eine Bevorzugung bestimmter Richtungen oder Sektoren zu bestimmten Zeiten als Häufung von Punkten in Erscheinung und eine kontinuierliche Änderung in der Richtungswahl erscheint als aufsteigender oder absteigender Streifen, je nachdem ob der bevorzugte Sektor rechts oder links dreht (Streifendiagramm). Ein Streifendiagramm in bezug auf ein richtungsvariables künstliches magnetisches Feld beweist, dass der Maikäfer den Vektor des magnetischen Feldes als richtungsmitbestimmende Information wahrnimmt (magnetische Orientierung).

3. Haupt- und Kontrollversuch

Das Phänomen der Devitationsrhythmen wird anhand des Hauptversuchs 21 dargestellt. Ein zweiter Versuch 22 unter vergleichbaren Bedingungen lieferte wegen zu grosser Unruhe der Käfer weniger Werte; er zeigt jedoch, dass Devitationsrhythmen reproduzierbar sind.

Versuch 21[1]. 10.–11. Juni 1964, 6.00–1.00 h; dickwandiger, unterirdischer Kellerraum des Schlossgebäudes der Forschungsanstalt Wädenswil; Temperatur 20 °C; diffuse künstliche Beleuchtung von etwa 50 Lux; kein Faradaykäfig und keine künstlichen elektrischen Felder; künstliche horizontale magnetische Felder von etwa 10 Gauss (ungefähr fünfzigmal stärker als die Horizontalkomponente des natürlichen erdmagnetischen Feldes), deren Himmelsrichtung bei jedem Käferwechsel nach einer Reihe von Zufallszahlen neu gewählt wurde, um bei der Auswertung die magnetische Orientierung von der ultraoptisch-azimutalen trennen zu können. Wetter: ganzer Tag wolkenlos; Neumond am 10. Juni 5.23 h; neben allen Schalen 40 kg schwere Bleiklötze, deren Symmetrieebenen genau nach Richtung 0 (Nord) eingestellt waren. Die Richtungswahl der Käfer wurde mit einer Genauigkeit von 1 Teilstrich = $^1/_{64}$ des Kreises = 5.6° bestimmt. Weibliche Käfer, am 30. Oktober 1962 in Mels, Kanton St. Gallen (Bernerflugjahr) und am 10. April 1964 in Intschi, Kanton Uri (Urnerflugjahr) ausgegraben. Herkunft, Alter und Vorbehandlung des Versuchsmaterials absichtlich extrem uneinheitlich; jede der 12, in einem rechteckigen Netz von 307–223 cm angeordneten, verdunkelten Glasschalen wurde abwechslungsweise mit Käfern aus Mels und Intschi beschickt, so dass die Versuchsorte für beide Proben übereinstimmen; von 140 Käfern beruhigten und orientierten sich 75, 54 blieben während der je zweistündigen maximalen Beobachtungszeit aktiv, 11 Einzelversuche wurden um 1.00 h vorzeitig abgebrochen.

In diesem Versuch war das Käfermaterial in bezug auf Alter und Vorgeschichte denkbar uneinheitlich, um dem Einwand zu begegnen, eventuell auftretende Orientierungs- und Devitationsrhythmen seien mit einer autonomen, rein physiologisch bedingten «Biologischen Uhr» zu erklären. Die Probe von Mels (Kanton St. Gallen, Bernerflugjahr) war in einer Kühltruhe des Schulgebäudes bei 1–2 °C aufbewahrt worden. Ein Teil der Käfer wurde bereits in Versuchen vom 11. Mai und 26. Mai 1964 verwendet. Am 8. Juni 14.30 h Laufkontrolle aller Tiere bei 22 °C im Tageslicht, um 17 h zurück in die Kühltruhe, am 9. Juni 22 h in Eiskiste vor dem Versuchs-

[1] Versuche 1–20 siehe Literaturhinweise 3 (1–7), 6 (8), 7 (9–16) und 8 (17–20).

raum. Die Probe von Intschi war an einem andern Ort, im Laboratoriumsgebäude in einer Kühlzelle bei 1 °C aufbewahrt worden. Vom 28. Mai bis 3. Juni wurde sie bei 8 °C einem mehrmaligen Lichtwechsel ausgesetzt, in der Absicht, sie in physiologischer Hinsicht der um ein Jahr älteren Käferprobe von Mels etwas anzugleichen; dann wieder 1 °C. Am 9. Juni 7.30–9.00 Laufkontrolle bei 20 °C im Tageslicht, und zurück in die Kühlzelle. Am 10. Juni 6.00 h Übertragung in separate Eiskiste im Vorraum des Versuchskellers.

Während des Versuchs äusserte sich der unterschiedliche physiologische Zustand der beiden Proben darin, dass die Melser-Käfer unmittelbar nach ihrer Übertragung in die Glasschalen relativ aktiv waren und bald zu laufen begannen, während die Intschi-Tiere die Beine dicht an den Körper legten und z.T. nach 20 Minuten mechanisch gereizt werden mussten, um sie aus ihrer Starre zu wecken (23 von 70 Individuen).

In Abbildung 1 sind sämtliche Einzelresultate in einem Punktdiagramm eingetragen. Auf der Abszisse ist die Zeit in Stunden angegeben, auf der Ordinate die von den Käfern in bezug auf die Vektoren der künstlichen magnetischen Felder gewählten Richtungen. Richtung und Gegenrichtung, d.h. Richtungen mit einer Differenz von 180° werden auf Grund der Regeln der ultraoptischen Orientierung (7) als gleichwertig betrachtet, und alle Ergebnisse sind auf den Halbkreis 1–32 übertragen worden (ganzer Kreis 1–64). Die 39 Punkte a und b beziehen sich auf Käfer aus Mels, die 36 Punkte c und d auf solche von Intschi. Die dunklen Punkte beider Proben (a, c) folgen einer auffälligen systematischen Ordnung, die 7 hellen (b, d) lassen sich dem

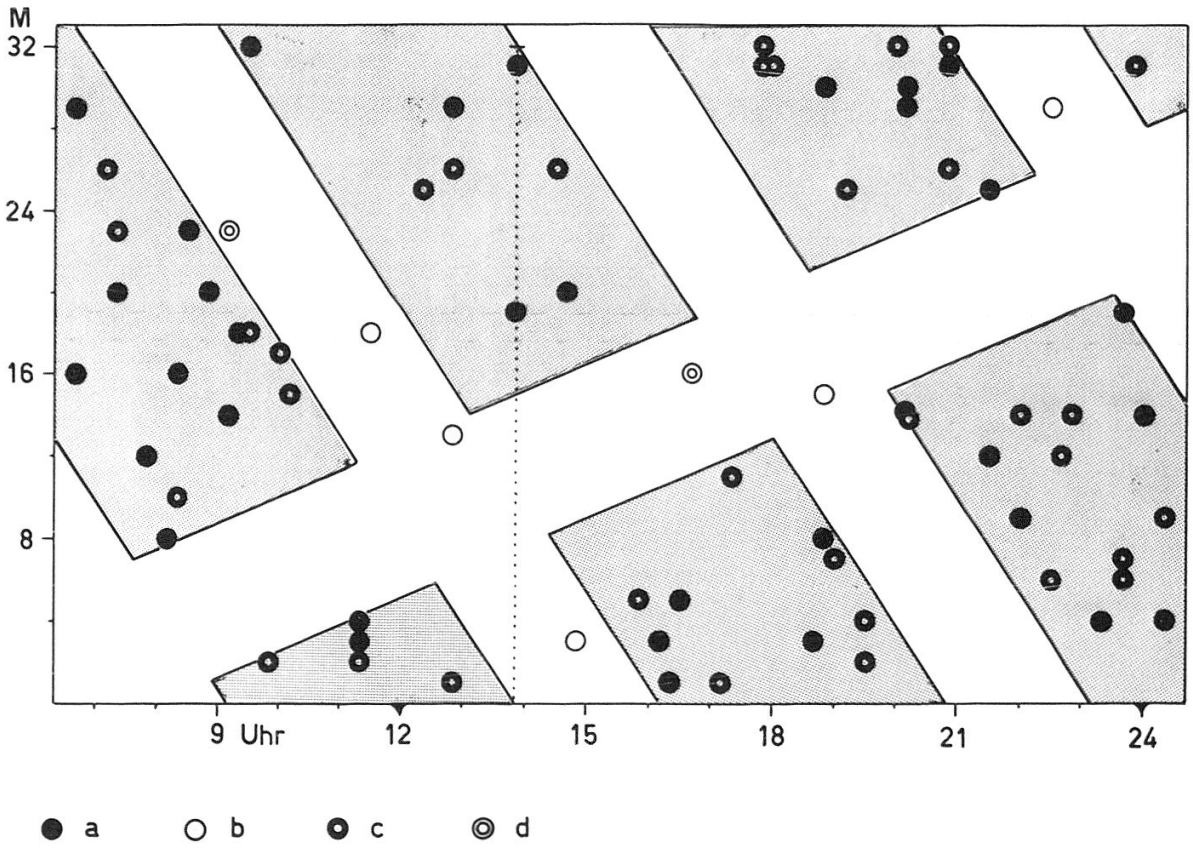
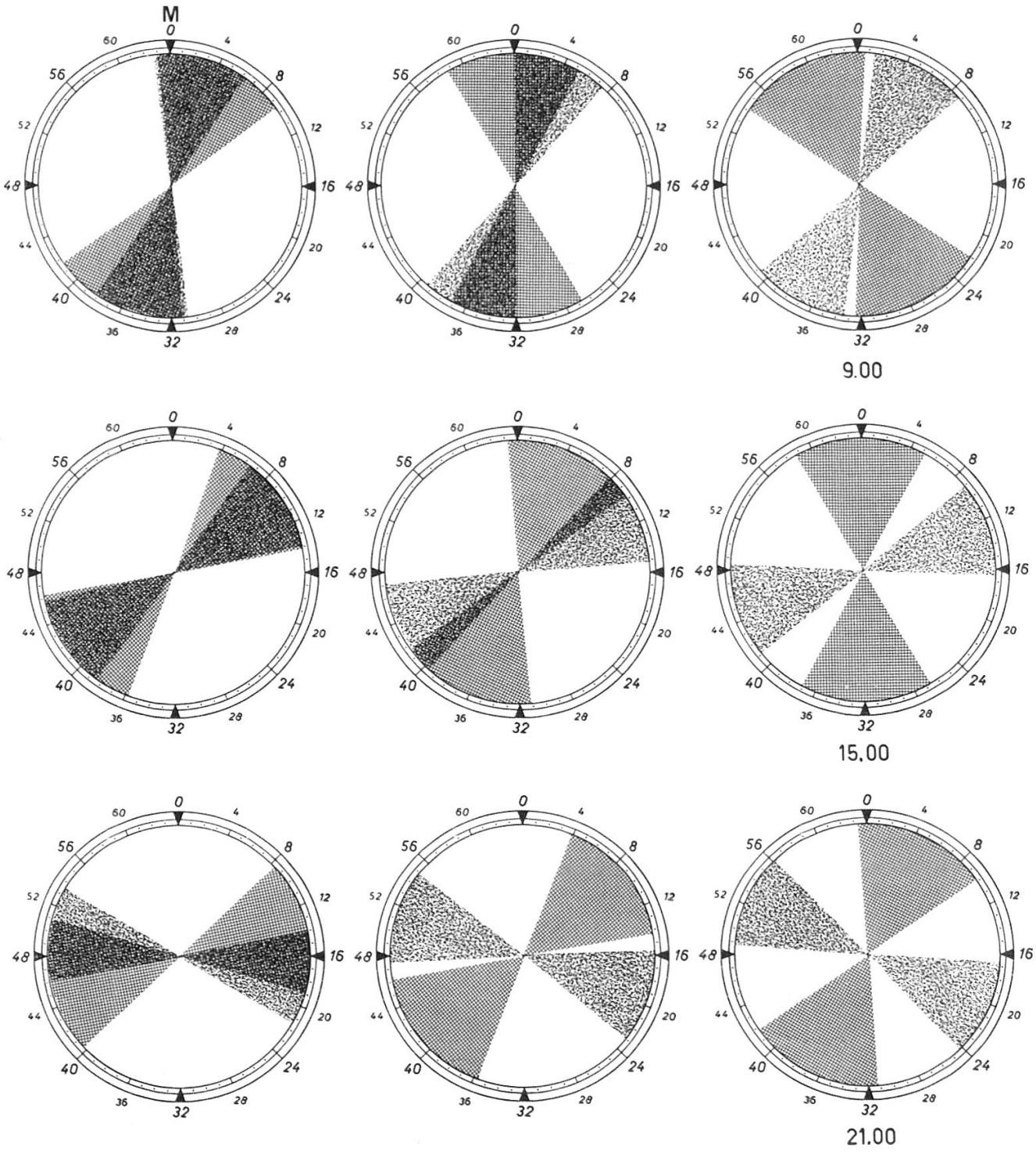


Abb. 1 Systematisch variable Orientierung einer altersmässig uneinheitlichen Maikäferprobe nach künstlichen magnetischen Feldern. Abszisse: Zeit; Ordinate: Richtungswahl in bezug auf den Vektor eines magnetischen Feldes, alle Werte auf den Halbkreis 1–32 übertragen.
a und b: Käfer von Mels (Bernerflugjahr)
c und d: Käfer von Intschi (Urnerflugjahr)
Die Käfer meiden bestimmte Sektorenpaare des Richtungskreises, die sich mit konstanter Geschwindigkeit nach rechts oder links bewegen.



Streifendiagramm nicht einfügen. Das Diagramm zeigt ein auffälliges Devitationsverhalten, indem zu bestimmten Zeiten bestimmte Richtungsbündel gemieden werden. Es erfüllt die extremen Bedingungen einer systematisch variierenden ultraoptischen (in diesem Fall magnetischen) Orientierung oder Devitation, indem die gemiedenen Streifen das ganze Diagramm durchziehen oder in gleichbleibender Breite periodisch aufeinanderfolgen, wobei sich das Ende eines Streifens genau mit dem Beginn eines neuen deckt. Die beiden Käferproben von Mels und Intschi verhalten sich gleich, was beweist, dass der Devitationsrhythmus nicht auf innern physiologischen Ursachen, sondern auf systematisch variablen äusseren physikalischen Informationen beruht.

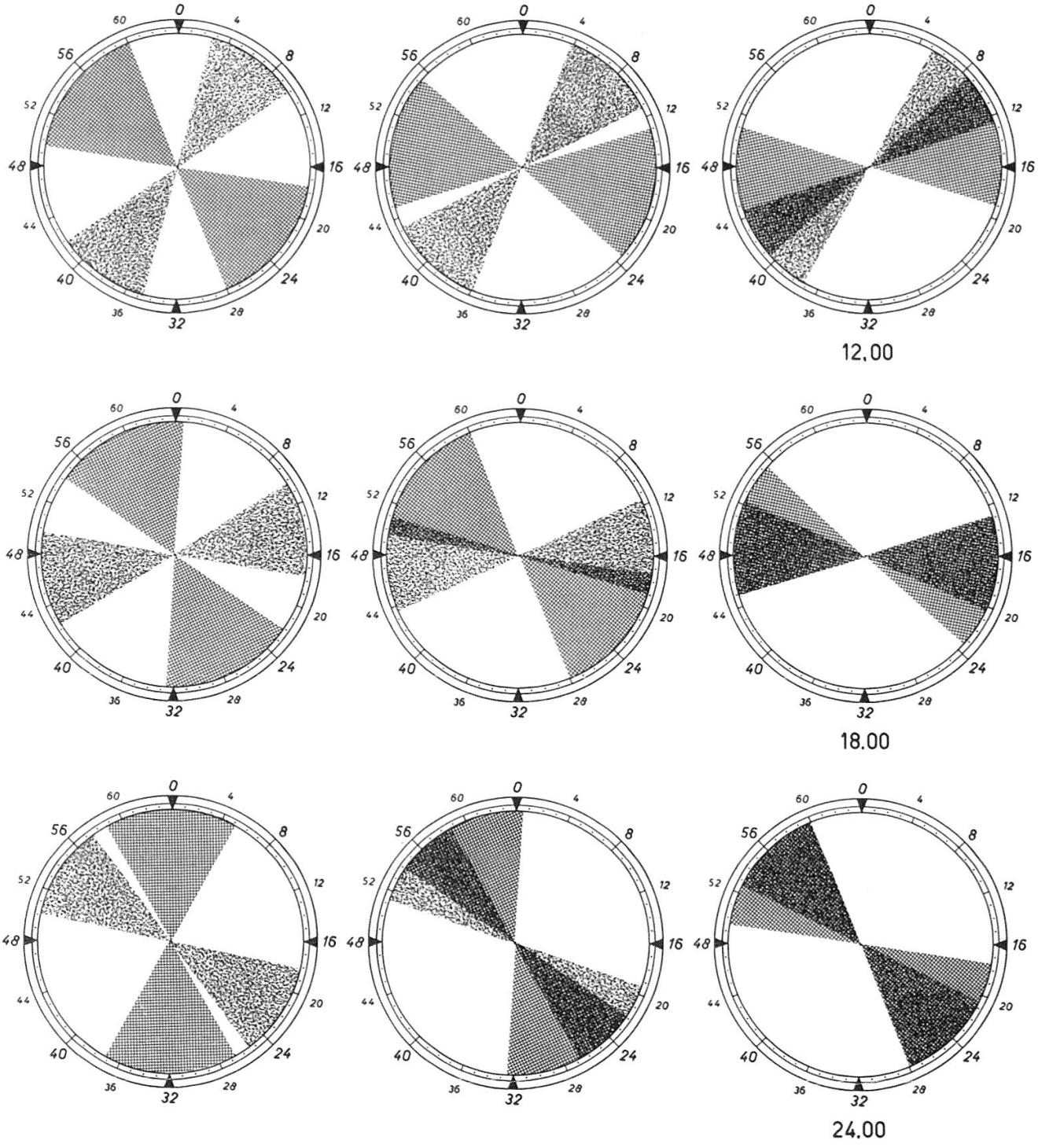


Abb. 2 Systematisch variable Orientierung nach künstlichen magnetischen Feldern (entspricht Abb. 1), in einstündigen Intervallen als Reihe von Kreisdiagrammen dargestellt. O/32 = Richtung der magnetischen Feldlinien. Die beiden, in entgegengesetztem Sinn und mit unterschiedlicher Geschwindigkeit rotierenden dunklen Sektorenpaare werden von den Maikäfern bei ihrer Richtungswahl gemieden.

Statistischer Kommentar zu Abbildung 1:

«Wird der Punkteverteilung die in Abb. 1 durch die Streifenbildung charakterisierte geometrische Wahrscheinlichkeit zugrunde gelegt (Nullhypothese), so ist die beobachtete oder eine extremere Punkteverteilung nur mit einer Wahrscheinlichkeit P kleiner 10^{-9} zu erwarten. Die Punkteverteilung

ist somit systematischer Natur. Analoge Betrachtungen für die Melser-Probe führen zu einer Wahrscheinlichkeit von P annähernd 2.10^{-7}. Für die Intschi-Probe resultiert ein P kleiner als 2.10^{-7}. Beide Proben zeigen somit für sich allein betrachtet, ebenfalls eine systematische Punkteverteilung. Die Abweichungen der zwei Proben unter sich ergeben eine Wahrscheinlichkeit für gleiche oder extremere Abweichungen (als Zufallserscheinung) von $P \sim 0.53$. Beide Proben stimmen somit in der Verteilung überein (gleiches Verhalten der Käfer trifft zu).»

Um das Verhalten der Käfer in diesem Versuch noch anschaulicher zu machen, sind in Abbildung 2 die von den Käfern gemiedenen Sektoren in Abständen von 1 Stunde in einer Folge von 18 Kreisdiagrammen dargestellt. Das schmälere punktierte Sektorenpaar, welches im Streifendiagramm der aufsteigenden punktarmen Zone entspricht, bewegt sich langsam und gleichförmig im Uhrzeigersinn nach rechts und benötigt für eine Richtungsänderung von 180° 25 Stunden (1 Mondtag); das breitere schraffierte Sektorenpaar, das im Streifendiagramm den steil abwärts führenden parallelen punktarmen Zonen entspricht, bewegt sich schneller in gegenläufigem Sinn nach links und benötigt für eine Richtungsänderung von 180° 7 Stunden. Die einzelnen Kreisdiagramme sind eine Art Momentaufnahmen. In Wirklichkeit bewegen sich die beiden Sektorenpaare kontinuierlich und gleichförmig. Sie bedecken, je nachdem sie sich überschneiden oder nicht einen variierenden Prozentsatz der gesamten Kreisfläche. Bei zufälliger Richtungswahl würden durchschnittlich von den 75 Strahlen 39 auf die weissen («bevorzugten») Flächen und 36 auf die dunklen (gemiedenen) fallen. In diesem Versuch treffen jedoch 68 auf die weissen (bevorzugten) und nur 7 auf die sich kontinuierlich drehenden dunklen Sektoren.

Versuch 22. 11. Mai 1964, 6.10–21.30 h; Wetter: anfangs leicht bewölkt, später Bewölkungsabnahme; Neumond am 11. Mai 22.02 h. Abgesehen von der speziellen Vorbehandlung der beiden Käferproben von Mels und Intschi wurden gleiche weitere Versuchsbedingungen gewählt wie bei Versuch 21.

Käfer von Mels zum ersten Mal im Versuch, Laufkontrolle bei Tageslicht und Zimmertemperatur am 28. April 1964, dann wieder in Kühltruhe; am 10. Mai 22 h in Eiskiste vor dem Versuchsraum gebracht. Käfer von Intschi am 5. Mai abends aus der 1°-Kühlzelle in Raum von 8 °C übertragen mit automatischem Lichtwechsel, 7 Stunden dunkel, 17 Stunden hell (Röhrenlampen Philips TL T 20 W/33); am 11. Mai 6 h in separate Eiskiste vor dem Versuchsraum übertragen. Während des Versuchs beruhigten und orientierten sich von 97 Käfern nur 29 Individuen, 58 blieben während der je zweistündigen maximalen Beobachtungszeit aktiv, 10 Einzelversuche wurden um 21.30 Uhr vorzeitig abgebrochen.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte wie bei Versuch 21. Im Diagramm der Abbildung 3 ist die Richtungswahl aller Käfer in Form von Punkten eingetragen. Von 29 Punkten lassen sich 28 bestimmten Streifen zuordnen, welche den Regeln der ultraoptischen Orientierung entsprechen. Sie sind parallel und gleich breit, 16 und 32 Teilstriche gegeneinander verschoben und durch halb so breite gemiedene Streifen voneinander getrennt. Die von links nach rechts steil abwärts laufenden Streifen entsprechen je vier senkrecht aufeinanderstehenden bevorzugten und gemiedenen Sektoren, die sich gleichförmig gegen den Uhrzeiger nach links bewegen, ohne Störung über die magnetische Nordsüd-Achse hinwegsetzen und für eine Drehung von 180°

8 Stunden benötigen (im Versuch 21: 7 Stunden). Der von links nach rechts schräg aufwärts verlaufende, breite gemiedene Streifen wurde von Abb. 1 übertragen, um anzudeuten, dass zwischen den beiden Diagrammen eine weitgehende Übereinstimmung besteht. Von 15.00 bis 20.50 h, also während rund 6 Stunden herrscht eine ausserordentliche Unruhe, der beide Proben gleichermassen unterworfen sind. Von Melser- und Intschikäfern konnte in dieser Phase nur je ein Wert gewonnen werden. Der genaue Verlauf des gemiedenen schräg aufwärts laufenden Streifens ist deshalb weniger gesichert als in Versuch 21.

Die Gesamtflächen der bevorzugten und gemiedenen Streifen sind gleich gross und ihre Punktbesetzung beträgt 28 bzw. 1, statt 14.5 und 14.5 bei zufälliger Besetzung. Melser- und Intschi-Probe verhalten sich gleich. Von der Melser-Probe liegen 14 Punkte in den «bevorzugten» Streifen, 1 Punkt in den gemiedenen. Von der Intschi-Probe liegen 14 Punkte in den «bevorzugten» Zonen.

Statistischer Kommentar zu Abbildung 3:

«Die systematische Abweichung aller Punkte von der durch die geometrische Wahrscheinlichkeit festgelegten Nullhypothese (Verteilung $^1/_2 : {}^1/_2$) führt zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P \sim 1.10^{-7}$ für die Aussage, dass nicht eine zufallsbedingte, sondern systematische Verteilung vorliegt. Analoge Be-

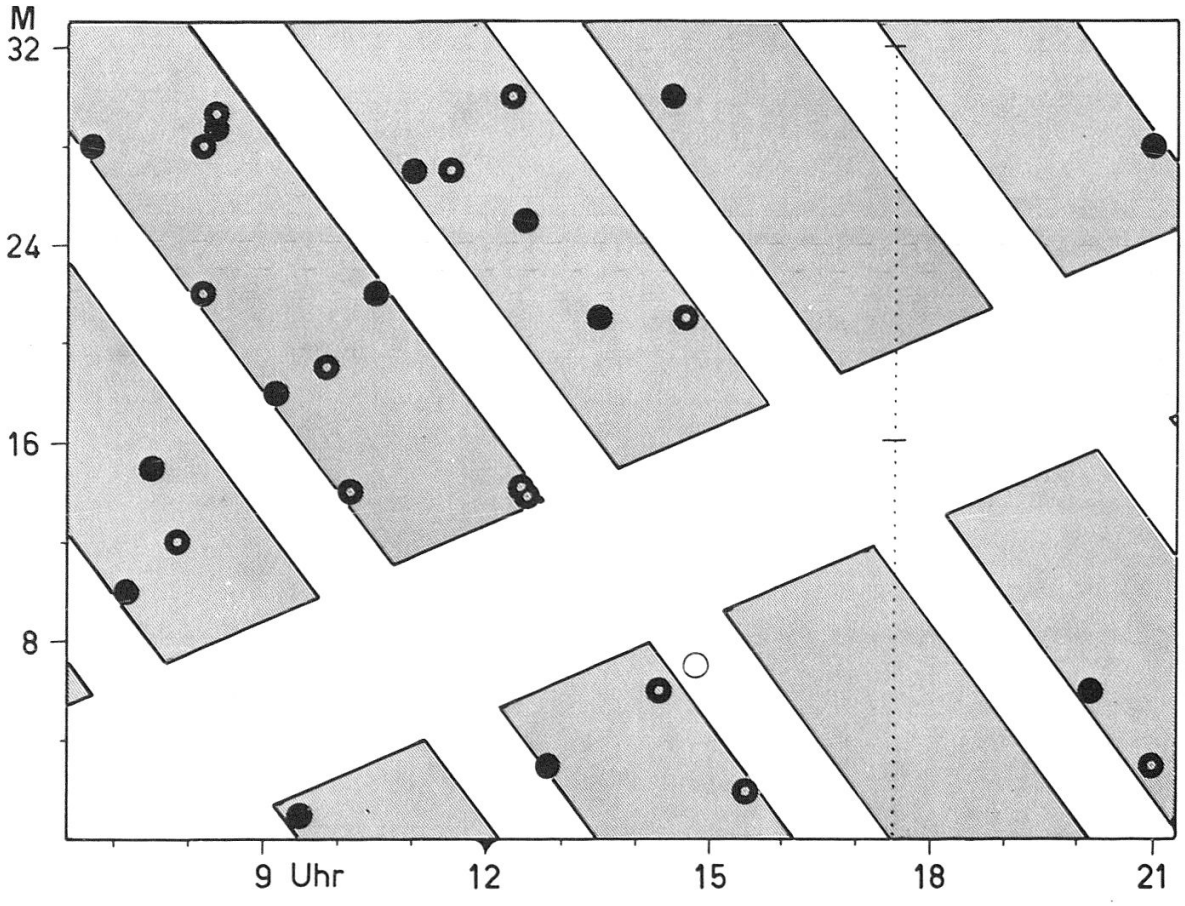


Abb. 3 Systematisch variable Orientierung nach künstlichen, magnetischen Feldern; Erläuterung siehe Abb. 1. Gegen den Uhrzeiger rotieren je zwei, senkrecht aufeinanderstehende, gemiedene und bevorzugte Sektorenpaare.

rechnungen für die beiden Proben zeitigten die folgenden Irrtumswahrscheinlichkeiten (für systematische Verteilung): Melser-Probe $P \sim 9.2\ 10^{-4}$; Intschi-Probe $P \sim 6.1.\ 10^{-5}$. Die Übereinstimmung (gleiches Verhalten) in den beiden Proben steht ausser Zweifel. Die beobachtete Abweichung zwischen den Proben oder eine grössere können als zufallsbedingte Erscheinung mit einer Wahrscheinlichkeit $P \gg 0.5$ erwartet werden».

4. Azimutale Orientierung neben der magnetischen

Trotz der hohen statistischen Sicherung der Aussage, dass sich im ersten Diagramm die Käfer nach den künstlichen magnetischen Feldern ausgerichtet haben, ist ein Test auf eine eventuelle gleichzeitige systematische azimutale Orientierung (in bezug auf die geografische Nordsüd-Achse) angezeigt. Ein positiver Befund könnte eine Erklärung für die Streuwerte in den «gemiedenen» Zonen liefern. Diese Querschläger in der magnetischen Orientierung wären in diesem Fall ein Ausdruck für das Dilemma, in dem sich die Käfer unter der gleichzeitigen Wirkung richtungsweisender magnetischer Felder und des ganzen Komplexes der Melofelder befinden.

Greifen wir den ersten, relativ dicht besetzten Streifen von 6.30 bis 14 h heraus mit drei Streuwerten. In Anbetracht der Inhomogenität des Melofeldermusters im Versuchsraum (11,13) und des zusätzlich störenden Einflusses der richtungsvariablen magnetischen Felder ist mit einer grossen Streuung in der azimutalen Richtungswahl zu rechnen, und man muss eine spezielle Methode anwenden, um die gestellte Frage befriedigend zu beantworten.

In der Einleitung wurde bereits erwähnt, dass die Wirkung von Bleiklötzen vom übrigen Massenverteilungsmuster abhängig sei. In Abb. 4 ist ein Grundriss des Versuchskellers mit den zwei massiven Aussenmauern (grau) dargestellt. Mitten durch die Versuchsanlage mit den Schalen 2–24 geht die Winkelhalbierende X zwischen den beiden Aussenwänden. Es hat sich bei der Auswertung früherer Versuche (8, 13) gezeigt, dass die Schalen 2, 13, 15, 20 und 22 in der Zone ZL längs dieser Winkelhalbierenden besonders einheitliche Ergebnisse liefern, wenn neben ihnen in gleicher Richtung noch je ein Bleiklotz aufgestellt wird. Die von diesen Schalen aus annähernd symmetrisch angeordneten Mauern erzeugen zusammen mit den Bleimassen an den Versuchspunkten ein sinnesphysiologisch sehr wirksames Melofeldermuster mit einheitlichen azimutalen Vorzugsrichtungen.

Wir wollen nun prüfen, ob die Käfer in den Schalen 2, 13, 15, 20 und 22 in bezug auf die geografische Nordsüd-Achse ein brauchbares Orientierungsmuster liefern und wenn ja, ob sich dieses Muster laut unserer Prognose von demjenigen der Nachbarschalen 4, 11, 18 und 24 unterscheidet. Aus Abb. 5 ist ersichtlich, dass dies tatsächlich der Fall ist. Die 8 schwarzen Kreise, die den Schalen in der Zone ZL entsprechen, bilden einen schmalen Streifen, der einem sich gleichförmig im Uhrzeigersinn drehenden Vorzugssektorenpaar entspricht. Je 4 Kreise beziehen sich auf Käfer von Mels und Intschi. Eine Drehung von 180° dauert etwa 6 Stunden 20 Minuten. Um 12 Uhr, etwa gleichzeitig mit Mond und Sonne, durchquert der Streifen die geografische Nordsüd-Achse (Zahl 32 auf der Ordinate). Die weissen Kreise, welche den vier Nachbarschalen ausserhalb der Zone ZL entsprechen, zeigen keine solche Ordnung und streuen beträchtlich. Die systematisch variable, ultraoptische Orientierung innerhalb der Zone ZL ist so eindeutig und auffällig, dass sich

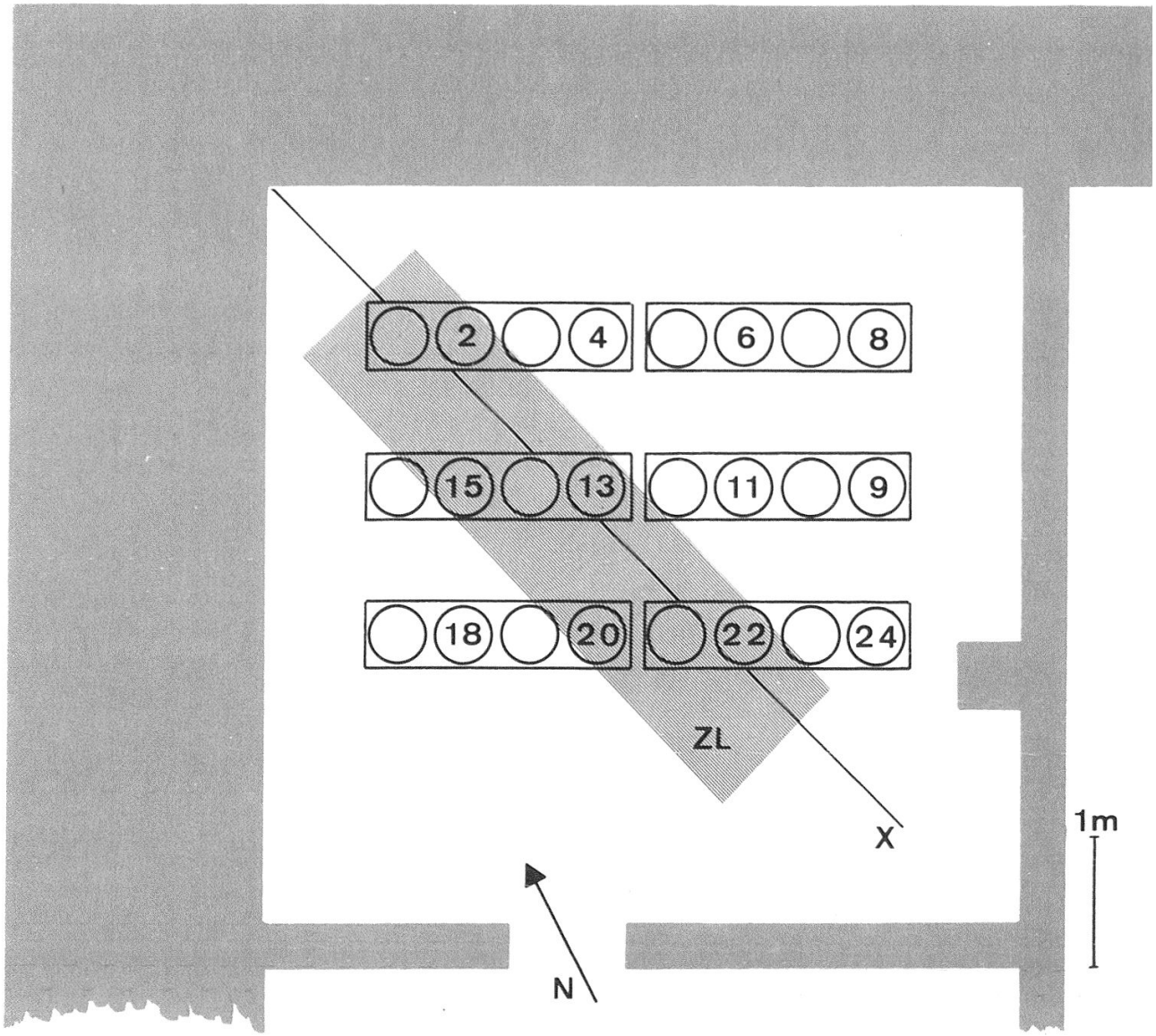


Abb. 4 Grundriss des Versuchskellers im alten Schlossgebäude der Forschungsanstalt Wädenswil. Ultraoptisch wirksam sind in dieser Anlage vor allem die massiven Aussenmauern (grau). Im Zentrum der Kreise 2–24 stehen die Versuchsschalen neben 40 kg schweren Bleiklötzen. Längs der Winkelhalbierenden X zwischen den beiden Aussenwänden liegt die Zone ZL, wo mit Bleiklötzen eine relativ einheitliche, systematisch variable, azimutale Orientierung erzielt wird. Ausserhalb dieser Zone ist die Streuung wesentlich grösser.

eine statistische Analyse erübrigt. Zwei Streuwerte der «gemiedenen» Zone in Abb. 1 entstammen der Schale 22 und liegen als schwarze Kreise in diesem schmalen Streifen, was auf eine Konkurrenz magnetische/azimutale Orientierung hindeutet und zwar zugunsten der letzteren. Der dritte Streuwert stammt aus Schale 6 und fällt bei dieser Darstellung ausser Betracht.

Während der zur Diskussion stehenden Zeitspanne lieferten die vier Schalen ausserhalb der Zone ZL 16 Werte (Ruhestellungen), d.h. durchschnittlich 4 pro Schale; die fünf Schalen innerhalb der Zone jedoch nur 8, durchschnittlich 1.6. Dies ist kein Zufall, sondern bestätigt die Erfahrung (8, Versuch 17), dass eine straffe ultraoptische Orientierung mit der Ausdehnung von Devitationsbereichen zusammenhängt, die Zahl der möglichen Körperstellungen einschränkt und damit automatisch die Unruhe der Käfer erhöht.

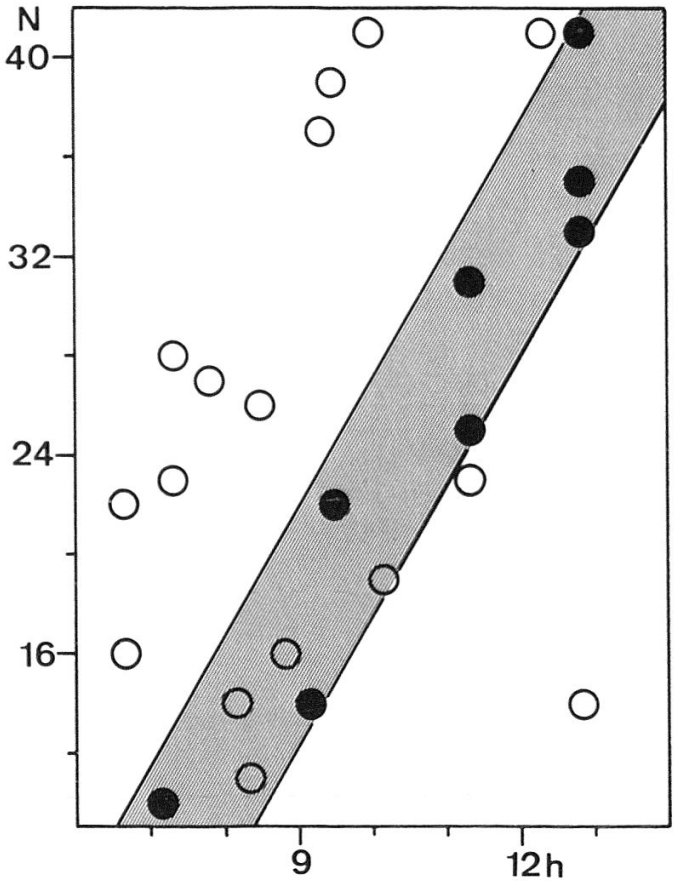


Abb. 5 Die Käfer orientieren sich gleichzeitig ultraoptisch nach den richtungsvariablen magnetischen Feldlinien und dem Muster der Melofelder. Abszisse: Zeit; Ordinate: von den Käfern gewählte Richtungen in bezug auf die geografische Nordsüd-Achse (32). Schwarze Kreise: Käfer der Schalen 2, 13, 15, 20 und 22 in der Zone ZL; weisse Kreise: Käfer der benachbarten Schalen 4, 11, 18 und 24. Die Käfer in der «Zone» zeigen eine straffe, kontinuierlich veränderliche, ultraoptische, jedoch nichtmagnetische, azimutale Orientierung.

5. Allgemeine Bemerkungen zur magnetischen Orientierung

Bei Orientierungsreaktionen nach trivialen Reizquellen gilt die Regel, dass die Tiere ihren Körper oft symmetrisch zur Achse Reizquelle/Tier einstellen. Dies hängt mit der bilateralsymmetrischen Anordnung der Rezeptoren zusammen. Manche Autoren haben nun ein solches Verhalten auch gegenüber den Vektoren magnetischer Felder angenommen, obwohl über die Symmetrieverhältnisse eines entsprechenden Empfangsorgans noch nichts Konkretes bekannt ist.

Beim Maikäfer kann auf Grund mehrerer tausend Versuchsdaten diese Annahme nicht bestätigt werden. Die systematischen Variationen in der magnetischen Orientierung (7) beweisen im Gegenteil, dass sich der Maikäfer praktisch in jedem Richtungssektor in bezug auf das natürliche Feld der Erde oder künstliche Felder zur Ruhe setzen kann, weil die Richtungswahl durch den gesamten Komplex ultraoptischer Informationen determiniert ist. Bei entsprechender Wahl der Versuchszeit und des Versuchsortes könnte ohne weiteres mit hoher statistischer Sicherung eine symmetrische Ausrichtung nach den Vektoren magnetischer Felder bewiesen werden, doch ist mit einer solchen Selektion der Sache wenig gedient; solche Ergebnisse lassen sich höchstens in bisher Bekanntes und Angenommenes einordnen, werden mühelos akzeptiert und stiften keine Unruhe.

Ich möchte nicht behaupten, die mit Maikäfern während 18 Jahren gesammelten experimentellen Erfahrungen gelten auch für andere Tiere. Der Befund einer symmetrischen Orientierung gegenüber magnetischen Feldern ist jedoch von so grosser theoretischer Bedeutung, auch bei der funktionellen Beschreibung des Rezeptors, dass er nicht ohne kritische Nachprüfung hingenommen werden kann. Er dürfte bei der einzelnen Tiergruppe erst als gesichert gelten, wenn

1. die Richtung der Tiere mit grosser Präzision gemessen und nicht einfach geschätzt wird,
2. die Versuche mehrere Stunden dauern oder in kleinen Zeitintervallen mehrmals wiederholt werden und die Ergebnisse in Zeit-Richtungs/Diagrammen dargestellt werden, um eventuelle Variationen im Verhalten festzustellen,
3. die Versuche an verschiedenen Orten vorgenommen werden, und
4. keine Selektion vorurteilskonformer Ergebnisse vorgenommen wird.

Und nun noch ein kleiner historischer Exkurs zum Thema magnetische Orientierung der Tiere. Anfänglich fielen meine experimentellen Beweise für eine magnetische Orientierung des Maikäfers begreiflicherweise auf steinigen Boden, z.B. am Symposium über die Orientierung der Tiere in Garmisch-Partenkirchen vom 17.–21.9.1962 (5). Am 23.2.65 hielt ich dann im Zoologischen Institut der Universität Frankfurt einen Kolloquiumsvortrag über die optische und magnetische Orientierung des Maikäfers. Die Herren Lindauer und Merkel (mit seinem Mitarbeiter Wiltschko) waren sehr an Orientierungsproblemen interessiert (Bienen bzw. Zugvögel). Am 16.9.65 besuchten mich die Herren Merkel und Wiltschko in Wädenswil, um die Versuchsanlage zu besichtigen und um im Hinblick auf ihre Vogelversuche über magnetische Orientierung zu diskutieren. Ab 1965 bis heute sind mehrere Arbeiten von WILTSCHKO über die magnetische Orientierung der Zugvögel erschienen und ab 1968 haben M. LINDAUER und sein Mitarbeiter H. MARTIN Reaktionen der Bienen auf magnetische Felder bei «Tänzen» und beim Wabenbau beschrieben.

Nun ist kürzlich ein zusammenfassender Bericht aus dem Zoologischen Institut der Universität Frankfurt über die magnetische Orientierung der Tiere erschienen (12). Im Vorwort des Herausgebers dieser Schriftenreihe «Fortschritte der Zoologie» (Lindauer) wird hervorgehoben, dass hier kompetente Referenten versuchen, unter Einbeziehung der wichtigsten internationalen Literatur ein Gesamtbild zu bieten. Im eigenen Beitrag des Herausgebers scheint dieser Versuch misslungen zu sein. Der Text befasst sich zu einem grossen Teil überhaupt nicht mit der magnetischen Orientierung der Tiere oder es werden anhand von Abbildungen und Text in erster Linie hauseigene Arbeiten ausgebreitet. In diesem 18seitigen Artikel wird die magnetische Orientierung der Maikäfer mit folgenden $3^1/_2$ Zeilen charakterisiert: «F. Schneider gelang es, die Orientierung von Maikäfern mit Hilfe von Hufeisenmagneten zu irritieren: Im normalen Magnetfeld behalten die Maikäfer in einem dunklen Raum die vormals eingeschlagene Flugrichtung zu ihren Fress- und Eiablageplätzen bei.» Die Zahl der Irrtümer dieser Aussage entspricht der Zahl der Zeilen. 1. habe ich, abgesehen von ersten Vorversuchen im Jahre 1957, nie mit Hufeisenmagneten gearbeitet; 2. erzielt man mit künstlichen magnetischen Feldern nicht nur eine «Irritierung», sondern statistisch sehr gut gesicherte, charakteristische Orientierungsreaktionen; 3. wurden

in den Versuchen keine Tiere verwendet, die sich früher auf dem Flug zu ihren Fress- oder Eiablageplätzen befunden haben. Im Literaturverzeichnis fehlen ausgerechnet die wichtigsten Arbeiten mit statistischen Analysen (z.B. 7), obwohl darauf bereits in meinem Kolloquiumsvortrag in Frankfurt Bezug genommen und Herr Lindauer regelmässig mit Separatabzügen beliefert worden ist. Es ist nur zu hoffen, dass bei der Ausführung und Interpretation der Versuche des Zoologischen Instituts Frankfurt eine grössere Sorgfalt aufgewendet worden ist, als bei der Abfassung des vorliegenden Artikels.

Der Beitrag von MARTIN und LINDAUER ist auch dadurch charakterisiert, dass jeder Hinweis auf nichtmagnetische ultraoptische Richtungsinformationen, deren Existenz seit Jahren schon mehrfach bewiesen worden ist und deren Effekt mit demjenigen der magnetischen Felder oft eng gekoppelt ist, peinlich vermieden wird. Das Ausserachtlassen solcher zusätzlicher Informationen beim Studium der magnetischen Orientierung ist so fragwürdig, wie die Nichtberücksichtigung ultraoptischer Informationsquellen bei Aussagen über die sog. «Biologische Uhr» und biologische Rhythmen. Das zweite war bis vor kurzem aus historischen Gründen verzeihlich, das erste kaum, weil schon mit der Entdeckung der magnetischen Orientierung ihre Koppelung mit zusätzlichen ultraoptischen Informationsquellen bekannt geworden ist.

LITERATURHINWEISE

1. SCHNEIDER, F., 1957. *Die Fernorientierung des Maikäfers während seiner ersten Frassperiode und beim Rückflug in das alte Brutgebiet.* Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges., Neuenburg, p. 95-96.
2. SCHNEIDER, F., 1960. *Der experimentelle Nachweis einer magnetischen und elektrischen Orientierung des Maikäfers.* Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges., Aarau, p. 132–134.
3. SCHNEIDER, F., 1961. *Beeinflussung der Aktivität des Maikäfers durch Veränderung der gegenseitigen Lage magnetischer und elektrischer Felder.* Mitteil. Schweiz. Entom. Ges., 33: 223–237.
4. SCHNEIDER, F., 1962. *Die Feinorientierung des Maikäfers nach physikalischen Feldern als Indiz für Leistungsfähigkeit und Bau entsprechender Sinnesorgane.* Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges., Scuol, p. 116–118.
5. SCHNEIDER, F., 1962. *Ultraoptische Orientierung des Maikäfers (Melolontha vulgaris F.) in künstlichen elektrischen und magnetischen Feldern.* Ergebnisse der Biologie, 26: 147–157.
6. SCHNEIDER, F., 1963. *Orientierung und Aktivität des Maikäfers unter dem Einfluss richtungsvariabler künstlicher elektrischer Felder und weiterer ultraoptischer Bezugssysteme.* Mitteil. Schweiz. Entom. Ges., 36: 1–26.
7. SCHNEIDER, F., 1963. *Systematische Variationen in der elektrischen, magnetischen und geographisch-ultraoptischen Orientierung des Maikäfers.* Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich, 108: 373–416.
8. SCHNEIDER, F., 1964. *Die Beeinflussung der ultraoptischen Orientierung des Maikäfers durch Veränderung des lokalen Massenverteilungsmusters.* Revue Suisse de Zoologie, 71: 632–648.
9. SCHNEIDER, F., 1964. *Weitere Beweise für die ultraoptisch-exogene Steuerung der Rhythmen in der magnetischen Orientierung des Maikäfers.* Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges., Zürich, p. 139–140.
10. SCHNEIDER, F., 1967. *Schwärmbahnen der Maikäfer* (aus H. Hediger: Die Strassen der Tiere). Verlag Vieweg Braunschweig, p. 256–278.
11. SCHNEIDER, F., 1972. *Ultraoptisch induzierte circahorare Verhaltensrhythmen.* Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges., Luzern, p. 169–171.
12. MARTIN, H. und LINDAUER, M., 1973. *Orientierung im Erdmagnetfeld.* Fortschritte der Zoologie, 21: 211–228.
13. SCHNEIDER, F., 1974. *Der experimentelle Nachweis magnetischer, elektrischer und anderer ultraoptischer Informationen.* Ztschr. f. angew. Entom. (im Druck).