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

Herausgeber: Schweizerische Entomologische Gesellschaft

Band: 33 (1960-1961)

Heft: 4

Artikel: Beeinflussung der Aktivität des Maikäfers durch Veränderung der gegenseitigen Lage magnetischer und elektrischer Felder

Autor: Schneider, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-401394

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: 10.01.2026

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

MITTEILUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ENTOMOLOGISCHEN GESELLSCHAFT
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ ENTOMOLOGIQUE SUISSE
Band XXXIII Heft 4 31. Januar 1961

Beeinflussung der Aktivität des Maikäfers durch Veränderung der gegenseitigen Lage magnetischer und elektrischer Felder *

von

F. SCHNEIDER
Eidg. Versuchsanstalt Wädenswil (Zürich)

Werden Maikäfer (*Melolontha vulgaris* F.) aus einer Temperatur von 0°C in verdunkelte horizontale Petrischalen von 20°C übertragen, so erwachen sie aus ihrer Kältestarre, wandern in den Schalen umher und setzen sich wieder zur Ruhe. Diese Ruhelage ist in der Regel nicht zufällig, sondern steht in Beziehung zu nichtoptischen physikalischen Einwirkungen, welche eine äussere lichtundurchlässige Kartondose und die Glasschale durchdringen. Es bietet sich damit die Möglichkeit, mit relativ einfachen Mitteln die Reaktionen des Maikäfers auf natürliche und künstliche physikalische Felder und speziell die Orientierung nach solchen Feldern zu studieren. Die Versuche werden in einem temperaturkonstanten, schwach und diffus künstlich beleuchteten Raum ausgeführt. Alle 10 Minuten öffnet man die äusseren Kartondosen während weniger Sekunden, um die Körperstellung und den Aktivitätsgrad der Käfer zu kontrollieren. Die Bestimmung der Stellung erfolgt mit einer Genauigkeit von $^1/_{64}$ des Kreisumfangs. Sobald sich ein Käfer beruhigt hat und bei zwei aufeinanderfolgenden Kontrollen dieselbe Richtung aufweist (Toleranz $\pm$ 1 Teilstrich), wird die Ablesung als definitive Ruhelage notiert und der Käfer durch ein neues Versuchstier ersetzt. Das Versuchsmaterial (etwa 2000 Tiere) ist im Februar und März 1960 in Mels (Kt. St. Gallen) ausgegraben und bis zur Übertragung in die Versuchsschalen bei einer Temperatur von ca. 0–1°C aufbewahrt worden. Die Käfer stammen alle aus derselben Population und waren bei Beginn jedes Einzelversuchs physiologisch gleichwertig. Obwohl von jedem Versuchstier das Geschlecht bekannt

* Diese Mitteilung widme ich in dankbarer Erinnerung an gemeinsame entomologische Erlebnisse meinem Vater und ehemaligen Lehrer, Herrn Prof. O. Schneider-Orelli, welcher am 10. August 1960 seinen 80. Geburtstag feierte.

ist, wird in den folgenden Protokollen zwischen Männchen und Weibchen nicht unterschieden, weil sich bisher keine Differenzen im Orientierungsverhalten nachweisen liessen.

Versuch 1

30. Mai 1960, 9.20–11.40 und 14.20–17.50 Uhr, Laboratoriumsraum, 4 Versuchsschalen, Stärke des künstlichen horizontalen elektrischen Feldes 4,5 Volt/16 cm, Stärke des künstlichen, ungefähr horizontalen magnetischen Feldes 0,9 Gauss. Die Horizontalkomponente des erdmagnetischen Feldes ist etwa 4,5 mal schwächer und wird hier vernachlässigt. Die Richtung der beiden künstlichen Felder zueinander und zur geographischen Nordsüd-Achse wird nach jedem Einzelversuch in allen möglichen Kombinationen um ein Vielfaches von 45° (8 Teilstriche) verändert.

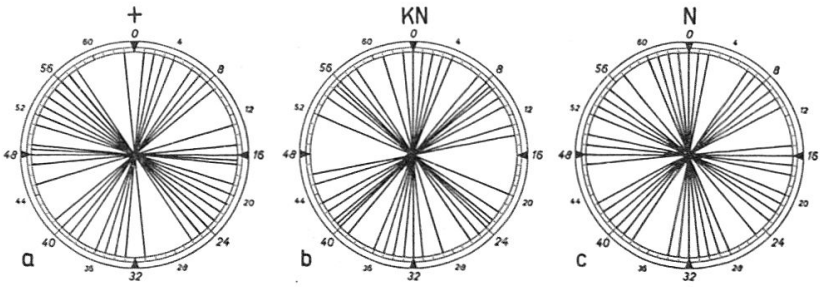

Abb. 1. — Lage der Körperachsen der Käfer in bezug auf den +Pol des elektrischen Feldes (a), den künstlichen Nordpol des magnetischen Feldes (b) und die geographische Nordrichtung (c).

In Abbildung 1 sind die Körperachsen sämtlicher Versuchstiere in der Ruhelage in bezug auf den + Pol des elektrischen Feldes (a), den künstlichen Nordpol (b) und die geographische Nordrichtung (c) eingetragen. Auffällig ist die grosse Streuung und scheinbar zufällige Verteilung nach allen Richtungen. Es scheint während der Versuchsdauer neben den beiden künstlichen Feldern kein wirksameres zusätzliches Bezugssystem bestanden zu haben. Auch besteht keine straffe, ausschliesslich elektrische oder magnetische Orientierung.

Bei der Prüfung des Versuchsprotokolls fällt sofort auf, dass die Laufzeit der einzelnen Käfer vom Beginn der Ortsveränderung bis zur Einnahme der Ruhestellung grossen Schwankungen unterworfen ist. Einzelne Käfer setzen sich bereits nach 10–20 Minuten, andere erst nach 100–110 Minuten zur Ruhe. Es besteht eine auffällige Korrelation zwischen der gegenseitigen Lage des magnetischen und elektrischen Feldes und der Dauer der Aktivität :

Dauer der Unruhe (Minuten)	Lage des elektrischen + Pols in bezug auf den künstlichen magnetischen Nordpol			
10	32			
20	32	32	32	48
30	0	16		
40	0	0	16	
50	0	16	48	
60	24	24	56	56
70	8	8		
80	40			
100	40			
110	48			

Das Ergebnis ist in Abbildung 2 noch graphisch dargestellt. Die Versuchstiere sind entsprechend ihrer Aktivitätsdauer in vier Gruppen eingeteilt: a) Unruhe 10–20 Minuten, b) Unruhe 30–50 Minuten,

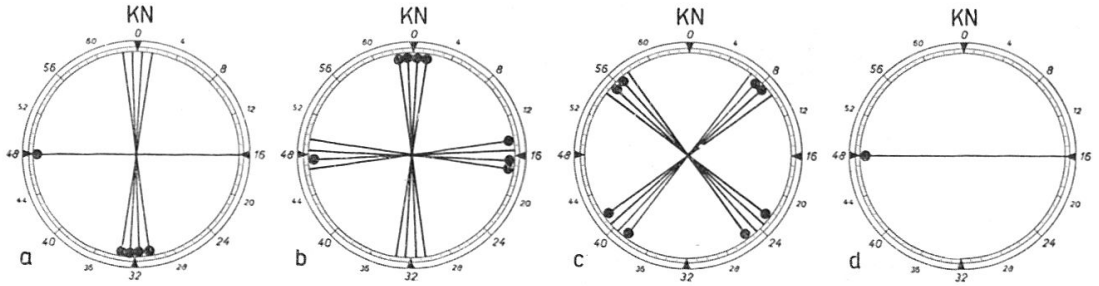

Abb. 2. — Lage der elektrischen +Pole (schwarze Punkte) in bezug auf den künstlichen magnetischen Nordpol (KN) bei den verschiedenen Aktivitätszeiten 10–20 Minuten (a), 30–50 Minuten (b), 60–100 Minuten (c) und 110 Minuten (d).

c) Unruhe 60–100 Minuten, d) Unruhe 110 Minuten. Der Nullpunkt der Richtungsskala entspricht dem künstlichen Nordpol (= Südpol des unter dem Versuchstisch angebrachten Stabmagnets). Die schwarzen Punkte am Ende der Strahlen geben die Lage des + Pols der elektrischen Felder an (aus graphischen Gründen nebeneinander statt übereinander). Der Zusammenhang zwischen der gegenseitigen Lage der beiden künstlichen Felder und der Unruhedauer der Käfer ist sehr auffällig, obwohl die Himmelsrichtung der Felder innerhalb der einzelnen Gruppen variiert, die Werte sich über mehrere Stunden am Vor- und Nachmittag verteilen und ausnahmslos sämtliche Einzelversuche verwertet worden sind. Abgesehen von der Stellung 48 des elektrischen Feldes zum künstlichen magnetischen Feld, dessen Laufzeit von 20–110 Minuten streut, ist eine straffe Ordnung festzustellen. Zuerst kommen diejenigen Käfer zur Ruhe, welche unter der Wirkung elektrischer und magnetischer Felder stehen, die parallel oder senkrecht aufeinander liegen, dann folgen ohne zeitliche Überschneidung diejenigen Tiere mit gegenseitig schief gestellten Feldern. Die Differenzierung geht noch viel weiter. Eindeutig am raschesten beruhigen sich

die Käfer, wenn der + Pol des elektrischen Feldes mit dem künstlichen magnetischen Südpol zusammenfällt, dann folgen der Reihe nach die + Pol-Stellungen 0 + 16, 24 + 56, 8, 40. Jede Stellung des elektrischen Feldes hat eine charakteristische Unruhedauer der Käfer zur Folge.

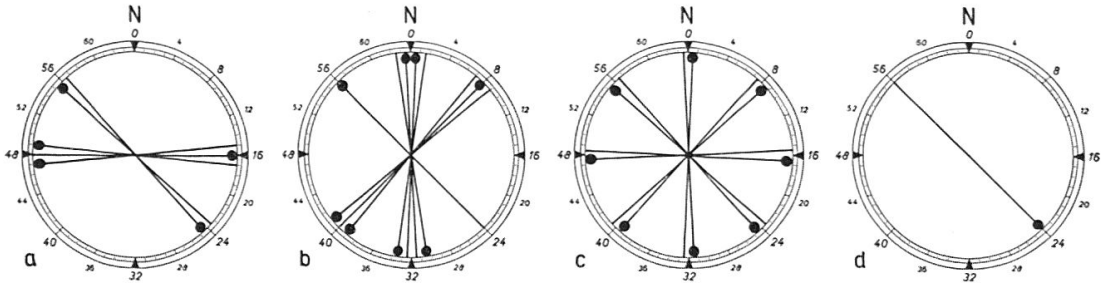

Abb. 3. — Lage der elektrischen +Pole (schwarze Punkte) in bezug auf den geographischen Nordpol (N) bei verschiedenen Aktivitätszeiten. Die Korrelation Feldstellung Unruhedauer ist hier viel weniger ausgeprägt als in Abbildung 2.

Bestehen nun ähnliche Beziehungen zwischen der Himmelsrichtung der elektrischen und magnetischen Felder und der Unruhedauer? In Abbildung 3 sind die Stellungen der elektrischen Felder zum geographischen Nordpol für die vier Gruppen aufgetragen. Die Diagramme streuen bedeutend mehr als in Abbildung 2. Das kann teilweise damit zusammenhängen, dass bei der vorliegenden Versuchsanordnung nie ein elektrisches Feld in eine optimale Himmelsrichtung zu liegen kommt. Aus den Diagrammen könnte die Tendenz herausgelesen werden, dass eine Feldstellung in der Himmelsrichtung 20/52 die Käfer am raschesten zur Ruhe kommen lässt, gefolgt von der Himmelsrichtung 4/36 (also senkrecht zur ersten), doch folgt dann im Diagramm c eine ideale Verteilung nach allen Himmelsrichtungen ohne jede positive Interpretationsmöglichkeit. Abbildung 4 müsste eventuelle

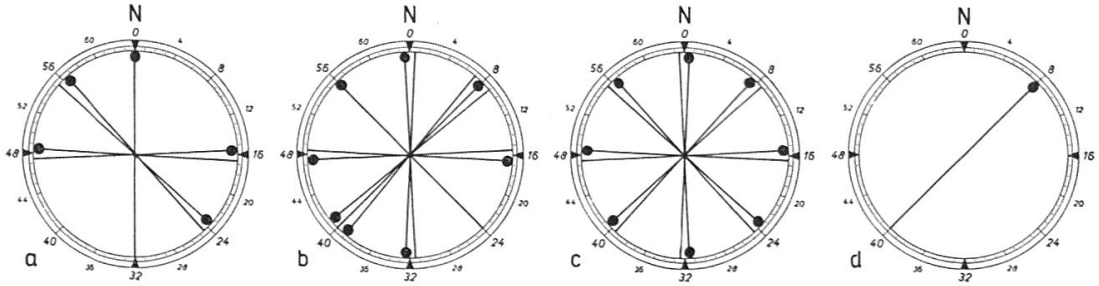

Abb. 4. — Lage der künstlichen magnetischen Nordpole (schwarze Punkte) in bezug auf den geographischen Nordpol (N) bei verschiedenen Aktivitätszeiten. Es besteht kein Zusammenhang mehr zwischen Feldstellung und Aktivitätsdauer.

Korrelationen zwischen der Himmelsrichtung des künstlichen magnetischen Feldes und der Unruhedauer zeigen. Die Streuung ist hier noch grösser und von einer solchen Beziehung ist keine Rede. Daraus

folgt, dass in diesem Versuch die Unruhedauer der Käfer tatsächlich von der gegenseitigen Lage künstlicher elektrischer und magnetischer Felder beeinflusst wird, die Himmelsrichtung der elektrischen Felder höchstens eine untergeordnete Rolle spielt und ein Einfluss der Himmelsrichtung des magnetischen Feldes überhaupt nicht nachgewiesen werden kann.

Wenn diese Ergebnisse auf « Zufall » beruhen würden und die Käfer tatsächlich keinen Sinn für magnetische und elektrische Felder hätten, müssten ihre Ruhelagen in bezug auf elektrische und magnetische Felder ebenfalls zufällig verteilt sein. Ist die unterschiedliche Unruhedauer hingegen ein Phänomen, welches mit der Orientierung der Käfer nach magnetischen und elektrischen Feldern zusammenhängt, darf man erwarten, dass Tiere in gleicher gegenseitiger Feldstellung ihre Körperachse etwa in demselben Winkel zu diesen Feldern orientieren :

Stellung des elektrischen + Pols in bezug auf den künstlichen magnetischen Nordpol	Orientierung der Käfer in bezug auf den künstlichen magnetischen Nordpol			
0	2	8	20	58
8	24	55		
16	8	39	54	
24	14	46		
32	16	34	36	63
40	1	42		
48	55	56	61	
56	11	41		

Diese Zahlen lassen zunächst keine Ordnung erkennen. Man muss sich jedoch vergegenwärtigen, dass nach bisherigen Erfahrungen mit der Feldorientierung Richtung und Gegenrichtung in der Regel gleichwertig sind und dass eine Abweichung von der bevorzugten Ruhelage um 90° (16 Teilstriche) eine Vorzugsstellung zweiten Grades darstellt. Abbildung 5 wird dies verdeutlichen.

In der oberen Reihe (a — d) bei + Pol-Stellungen von 24, 8, 56 und 16 stimmen die Richtungen der Körperachsen der ruhenden Käfer unter gleichen elektrisch-magnetischen Bedingungen bis auf ± 0, ½, bzw. 1 Teilstrich überein. Jeder Stellung des elektrischen Feldes zum künstlichen Nordpol (KN) entspricht eine besondere Vorzugsstellung gegenüber dem magnetischen und elektrischen Feld. Auch bei e und f ist trotz etwas grösserer Streuung eine Vorzugsachse noch deutlich zu erkennen, während sich bei g und h nichts Positives aussagen lässt. Die + Pol-Stellung 40 (g) ist wegen der extremen Unruhedauer bereits früher aufgefallen und beim Zusammenfallen des elektrischen + Pols mit dem künstlichen Nordpol scheint hier das Orientierungsvermögen überhaupt zu schwinden (gegenseitige Kompensation der sinnesphysiologischen Wirksamkeit der beiden Felder ?).

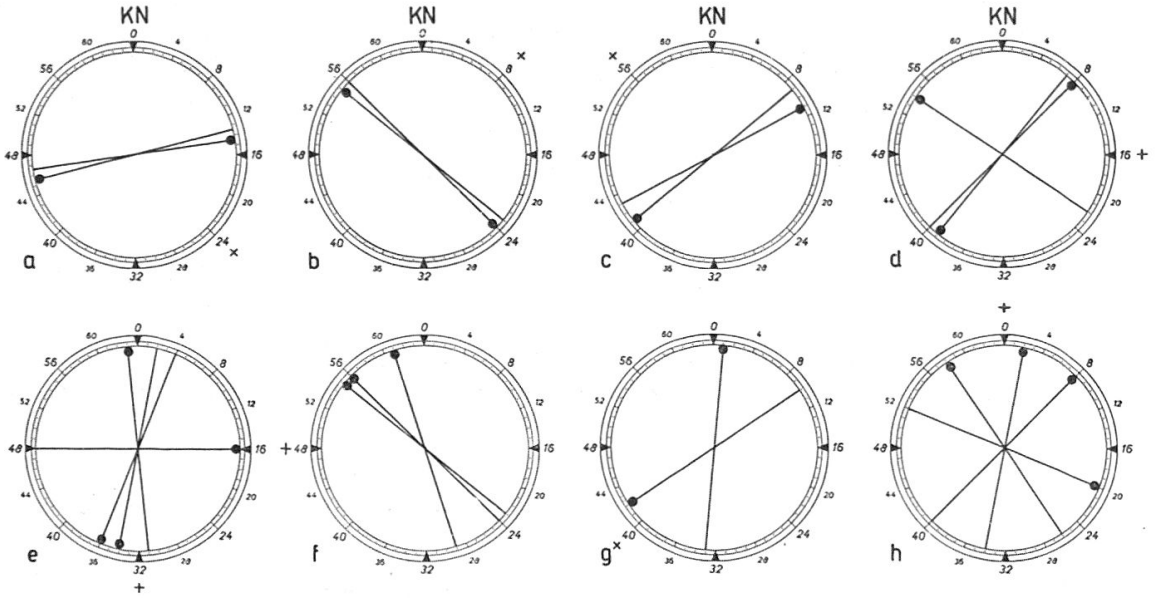

Abb. 5. — Lage der Körperachsen der ruhenden Käfer in bezug auf den künstlichen Nordpol (KN) und den elektrischen +Pol (+) bei verschiedenen gegenseitigen Stellungen dieser beiden künstlichen Felder. Die schwarzen Punkte am Ende der Strahlen markieren den Kopf der Käfer.

Die in Abbildung 5 dargestellte Versuchsauswertung leidet unter dem Umstand, dass infolge der Aufteilung in 8 Gruppen auf jede Gruppe nur noch 2–4 Werte entfallen. Doch wird dieser Mangel durch den überraschend hohen Grad der Übereinstimmung der Werte in den ersten 6 Gruppen weitgehend kompensiert. Und wenn man berücksichtigt, dass die Auswertung nach den zwei ganz verschiedenen Kriterien « Unruhedauer » und « Orientierung » zu übereinstimmenden Ergebnissen geführt hat, darf schon auf Grund dieses Einzelversuchs angenommen werden, dass der Maikäfer auf elektrische und magnetische Felder anspricht, in bezug auf diese Felder eine bestimmte Ruhelage einzunehmen sucht und je nach der gegenseitigen Stellung dieser Felder mehr oder weniger Zeit benötigt, um eine optimale Ruhelage zu finden.

Versuch 2

25. April 1960, 9.00–12.40 und 15.00–18.30 Uhr, Versuchsbedingungen und Drehungen der künstlichen magnetischen und elektrischen Felder genau gleich wie in Versuch 1. Ohne Rücksicht auf die ihre Lage wechselnden magnetischen und elektrischen Felder zeigen die Käfer eine ausgesprochene, von der zufälligen Verteilung signifikant abweichende Tendenz, sich dicht um die Himmelsrichtungsachse 25/57 oder senkrecht dazu zur Ruhe zu setzen (Abbildung 6 a). Mit dem Auftauchen dieses dritten, sehr wirksamen, seiner Natur nach jedoch

noch unbekannten Bezugssystems werden die elektrische und magnetische Orientierung konkurrenziert, und die Abhängigkeit der Unruhedauer von der gegenseitigen Stellung des elektrischen und magnetischen Feldes muss zusammenbrechen. Den Unruhezeiten von 20–90 Minuten entsprechen folgende eingeklammerten Stellungen des elektrischen + Pols zum künstlichen Nordpol: 20 (24), 30 (8, 16, 56), 40 (0, 24, 32), 50 (0, 48), 60 (16, 48), 70 (40), 80 (40), 90 (16, 32, 56). Wenn man diese Werte in zwei Gruppen von 20–40 Minuten und 50–90 Minuten sondert und in Diagramme einträgt (Abbildung 6 b und c) ist die grosse Streuung sofort ersichtlich.

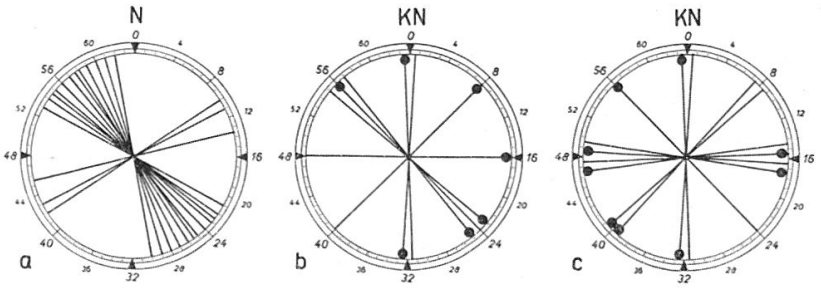

Abb. 6. — Die Käfer kümmern sich nicht um die in ihrer Lage wechselnden magnetischen und elektrischen Felder, sondern bevorzugen bestimmte Winkelstellungen zum geographischen Nordpol (N) (a). Damit schwindet auch die Korrelation zwischen der gegenseitigen Lage des künstlichen Nordpols (KN) und den elektrischen +Polen (schwarze Punkte am Ende der Strahlen) und der Aktivitätsdauer (b Laufzeit 20–40 Minuten, c Laufzeit 50–90 Minuten).

Das Beispiel zeigt uns sehr eindrücklich, dass neben den experimentell gesetzten, elektrischen und magnetischen Feldern noch weitere physikalische Aussenfaktoren auf den Maikäfer einwirken und sein Orientierungsverhalten sowie seine Aktivität beeinflussen. Der Käfer kann aber muss sich nicht nach magnetischen Feldern orientieren, weil ihm zeitweise noch andere, offenbar wirksamere nichtoptische physikalische Bezugssysteme zur Verfügung stehen. Deshalb steht der Befund von COUTURIER und ROBERT (1960), welche ohne Erfolg in Feldversuchen Maikäfer mit Hilfe starker künstlicher magnetischer Felder in ihrer Flugrichtung abzulenken suchten, nicht im Widerspruch zu unsern Befunden, sondern beweist lediglich, wie ausserordentlich komplex und methodisch neuartig das ganze Problem der nichtoptischen Maikäferorientierung ist.

Versuch 3

21. Oktober 1960, 18.30–21.30 Uhr, fensterloser unterirdischer Kellerraum, feinmaschiger Faradaykäfig, 4 Versuchsschalen, Stärke des künstlichen horizontalen elektrischen Feldes 50 Volt/16 cm, kein künstliches magnetisches Feld, bei jedem Versuchstier wird das elektrische Feld gegenüber dem vorhergehenden um 10 Teilstriche nach rechts gedreht.

Der kurze Versuch lieferte nur wenige Werte, doch zeichnet er sich durch eine auffällige Tendenz der Käfer aus, sich parallel oder annährungsweise quer zum elektrischen Feld (Abbildung 7 a) und ungefähr parallel zur geographischen Nordsüd-Achse (b) einzustellen. Es könnte sich hier um eine Ausrichtung nach dem erdmagnetischen Feld handeln.

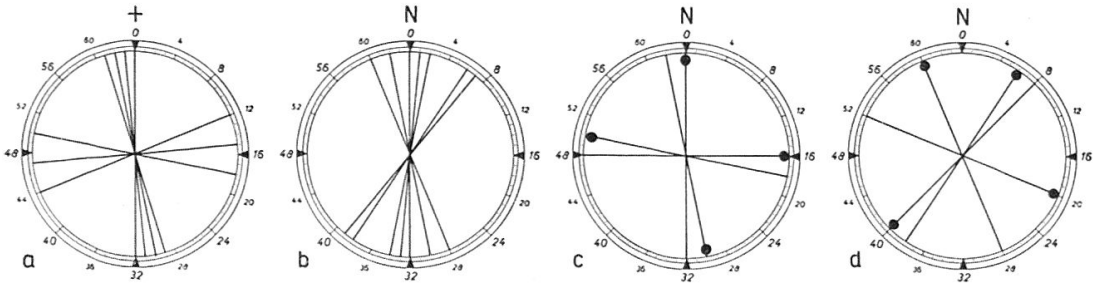

Abb. 7. — Die Käfer bevorzugen eine Ruhelage parallel oder senkrecht zum elektrischen Feld (a) und gleichzeitig ungefähr parallel zur geographischen Nordsüd-Achse (b). Wenn die elektrischen Felder (schwarze Punkte = + Pole) parallel oder senkrecht zur geographischen Nordsüd-Achse stehen (c), beruhigen sich die Käfer nach 30–70 Minuten, bei schiefer Lage (c) erst nach 80–120 Minuten oder später.

Wir bilden mit den acht Versuchstieren nun wieder zwei Gruppen, Gruppe 1 mit einer Unruhedauer von 30–70 Minuten (c) und Gruppe 2 mit einer Unruhedauer von 80–120 Minuten und mehr (d). Die Diagramme c und d geben wieder die Stellung des elektrischen Feldes (+ Pol = schwarzer Punkt) zum geographischen Nordpol (N) wieder. Den kürzeren Laufzeiten entsprechen Feldstellungen parallel und quer zur Nordsüd-Achse, den längeren eher schiefe Lagen. Wenn also die bevorzugten Sektoren der Himmelsrichtung und des elektrischen Feldes zusammenfallen. kommt der Käfer rascher zur Ruhe, als wenn sie schief zueinander stehen (Dilemma). Das Ergebnis deckt sich mit den Befunden in Versuch 1.

Versuch 4

9. April 1960, 8.15–11.45 Uhr, Laboratoriumsraum, 6 Versuchsschalen, Stärke des künstlichen horizontalen elektrischen Feldes 4.5 Volt/16 cm, kein künstliches magnetisches Feld. Das elektrische Feld wird von einem Einzelversuch zum andern um 10 Teilstriche gedreht.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse in Form von Diagrammen dargestellt. Die Ausrichtung der Käfer nach dem elektrischen Feld (a) und nach der geographischen Nordsüd-Achse (b) streut stark, beschränkt sich jedoch in beiden Fällen zur Hauptsache auf einen Sektor von 12 bzw. 19 Teilstrichen. Es liegt eine diffuse Orientierung nach dem elektrischen Feld und nach der Himmelsrichtung vor. Im Verlaufe der Versuchskontrollen fiel auf, dass vier Käfer viel lebhafter waren als die übrigen und erst spät oder überhaupt nicht zur Ruhe kamen.

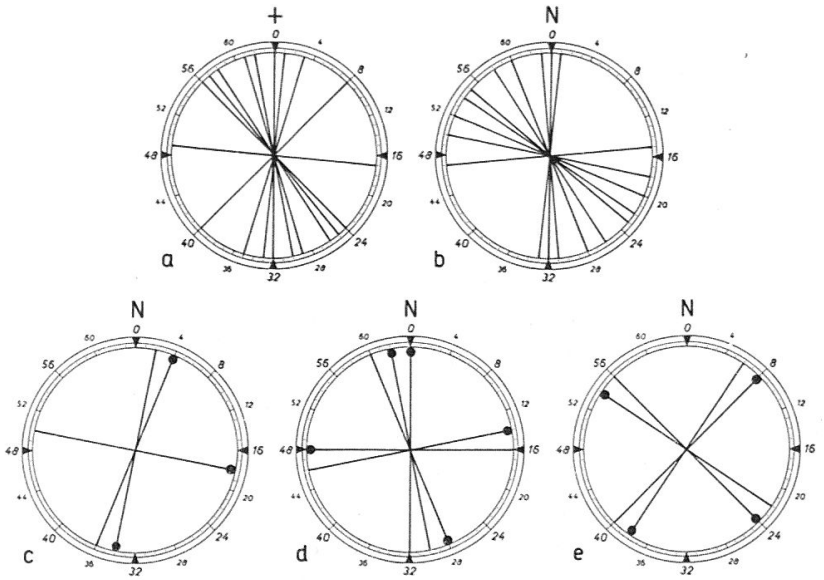

Abb. 8. — Die Orientierung ist etwas diffus und weder in bezug auf das elektrische Feld (a) noch die Himmelsrichtung (b) sehr ausgeprägt. Jedem Lagekreuz der elektrischen Felder (schwarze Punkte = + Pole) entspricht eine charakteristische Aktivitätsdauer (c – e).

Das elektrische Feld befand sich hier in Diagonalstellung zum erdmagnetischen. Es war das erste Mal, dass wir auf eine solche Beziehung Feldstellung/Aktivität aufmerksam wurden.

Eine Gruppenbildung nach Aktivitätsdauer (Abbildung 8 c – e) zeigt wiederum eine sehr präzise Korrelation. Jeder Unruhedauer entspricht ein ganz bestimmtes Lagekreuz der elektrischen Felder mit einer Streuung von bloss ± 1–2 Teilstrichen. Nach der Nordsüd- oder Ostwest-Achse ausgerichtete Felder mit einer leichten Rechtsdrehung (c) führen schon nach 10 Minuten zur Beruhigung der Käfer, solche mit einer leichten Linksabweichung (d) nach 20–60 Minuten während Diagonalstellung (e) die Käfer erst nach 70 Minuten oder überhaupt nicht zur Ruhe kommen lässt. Auch dieses Ergebnis deckt sich mit demjenigen von Versuch 1, obwohl hier neben dem erdmagnetischen Feld noch andere, unkontrollierbare Einwirkungen im Spiel gewesen sein mögen.

Versuch 5

11. Juli 1960, 8.00–16.10 Uhr, Laboratoriumsraum, 4 Versuchsschalen, Stärke des künstlichen horizontalen elektrischen Feldes 4.5 Volt/16 cm, kein künstliches magnetisches Feld. Das elektrische Feld wird von einem Einzelversuch zum andern um 10 Teilstriche gedreht.

Was an diesem Tage auffällt, ist die recht straffe Orientierung nach der Himmelsrichtung (Abbildung 9 a, b) und die viel grössere Streuung im Bereich des künstlichen elektrischen Bezugssystems (c, d). Die

Winkeleinstellung zum geographischen Nordpol (N) ist kaum rein magnetisch bedingt, denn etwa um 13 Uhr findet eine deutliche Rechtsdrehung der Vorzugsachsen statt. Am Vormittag (a) wird die Achse 23/55 deutlich bevorzugt, am Nachmittag (b) die Achse 28/60, wobei sich das Strahlenbündel in der Mitte aufspaltet.

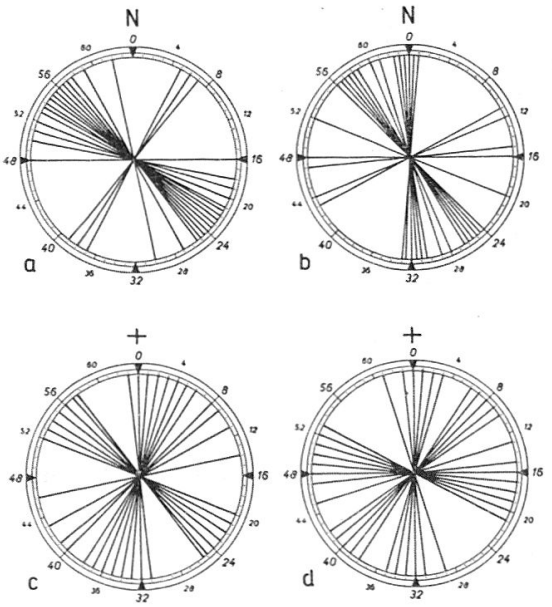

Abb. 9. — Präzisere Ausrichtung nach bestimmten Himmelsrichtungen (a, b) als nach den elektrischen Feldern (c, d). Leichte Drehung der bevorzugten Sektoren vom Vormittag (a, c) zum Nachmittag (b, d).

Ähnlich wie in Versuch 2 tritt neben dem magnetischen und elektrischen ein drittes unbekanntes Bezugssystem auf und scheint eher wirksamer zu sein als die beiden übrigen. Diese Dominanz eines einzelnen Bezugssystems stört die Korrelation magnetische-elektrische Orientierung. Wir bilden nun wieder, Vor- und Nachmittag gesondert, nach der Unruhedauer geordnete Gruppen. Eine saubere Trennung gelingt hier nicht mehr (Abbildung 10). Am Vormittag kommen diejenigen Käfer bereits nach 10–20 Minuten zur Ruhe, bei denen das elektrische Feld parallel oder senkrecht zur geographischen Nordsüd-Achse steht (a), bei Käfern, die erst nach 50 Minuten oder später die Ruhelage einnehmen (c), stehen die elektrischen Felder eindeutig diagonal, dazwischen (b, 30–40 Minuten) mischen sich die beiden Bereiche. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse am Nachmittag. Bei Käfern mit 10 Minuten Laufzeit liegen die elektrischen Felder ungefähr senkrecht zur Nordsüd-Achse (d), bei den unruhigsten Käfern mit Laufzeiten von 40–80 Minuten in zwei Bündeln nach 7/39 und 28/60 (f); bei Tieren, welche 20–30 Minuten laufen, besteht keine Ordnung. Unter den vorliegenden Bedingungen besteht die Korrelation zwischen Feldstellung und Laufzeit noch für die Extremwerte.

Auffällig ist die Deformation im Diagramm am Nachmittag (f : Achse 28/60 statt 24/56 bevorzugt !).

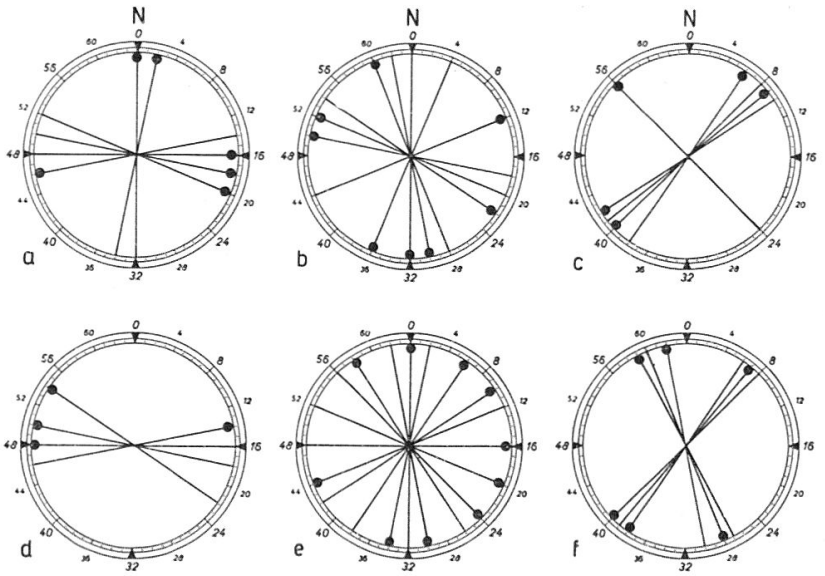

Abb. 10. — Am Vormittag (a – c) und am Nachmittag (d – f) beruhigen sich die Käfer bei Querstellung der elektrischen Felder zur geographischen Nordsüd-Achse am raschesten (a, d), während Diagonalstellung speziell in der Achse 8/40 extrem lange Laufzeiten zur Folge hat (c, f). Die Korrelation Feldstellung/Aktivität wird jedoch durch das Auftreten eines weiteren Bezugssystems gestört.

Versuch 6

7. Oktober 1960, 9.50–18.00 Uhr, fensterloser unterirdischer Kellerraum, feinmaschiger Faradaykäfig, 4 Versuchsschalen, elektrisches Feld 4.5 Volt/16 cm, kein künstliches magnetisches Feld, bei jedem Versuchstier wird das elektrische Feld gegenüber dem vorhergehenden um 10 Teilstriche nach rechts gedreht.

Die Orientierung nach dem elektrischen Feld ist deutlich. Die Käfer zeigen die Tendenz, ihre Körperachse nach einem Sektor um 8/40 auszurichten (Abbildung 11 a), die Senkrechte dazu ist viel schwächer besetzt. Auch das Diagramm b (Orientierung bezüglich Himmelsrichtung) kann man als Diagonalbündel in der Achse 10/42 auffassen, das sich in der Mitte breit klaffend aufspaltet (vergleiche Abbildung 9 b). Es wird sich auch hier wie im vorhergehenden Versuch nicht um eine rein erdmagnetische Orientierung handeln.

Wie in früheren Versuchen sind für die einzelnen Aktivitätszeiten die Feldstellungen nicht beliebig verteilt. Käfer, welche nach 20–60 Minuten zur Ruhe kommen (c), befinden sich in Feldstellungen, die sich um die geographischen Achsen 4/36 und 19/51 scharen. Die Feldstellungen um 11/43 und 28/60 bewirken dagegen eine Laufzeit von 80–100 oder mehr Minuten (d). Die Strahlenbündel mit kurzer und

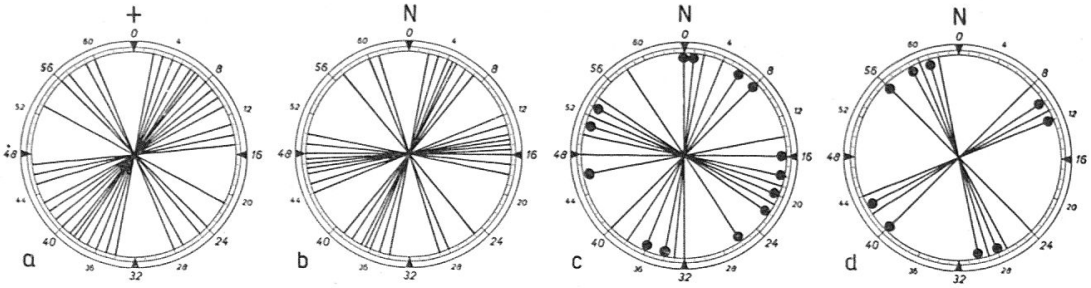

Abb. 11. — Deutliche, wenn auch stark streuende Orientierung nach dem elektrischen Feld (a). Die verzerrte Orientierung nach bestimmten Himmelsrichtungen (b) ist nicht rein erdmagnetisch bedingt. Trotzdem beeinflusst auch hier die Stellung der elektrischen Felder die Aktivitätsdauer (c Unruhe 20–60 Minuten, d Unruhe 80–100 und mehr Minuten).

langer Laufzeit stehen wie üblich in einem Winkel von etwa 45° aufeinander, doch sind weder die einen noch die andern nach der geographischen Nordsüd-Achse ausgerichtet. Noch ein kleines Detail mag hier interessieren. Der auffälligste Querschläger in Diagramm c nach der Richtung 26 bezieht sich auf einen Käfer, welcher um 12.00 startete und in einer Zeit lief, da häufig Unregelmässigkeiten oder Wechsel im Orientierungsverhalten der Käfer auftreten. Im Versuch 1 ist diese kritische Phase nach 12 Uhr unabsichtlich durch Einschalten einer Mittagspause umgangen worden.

Versuch 7

28. Oktober 1960, 15.50–20.30 Uhr, 10 Versuchsschalen, elektrisches Feld 100 Volt/16 cm, im übrigen Bedingungen wie in Versuch 6.

Das Orientierungsverhalten gegenüber dem elektrischen Feld ist hier sehr eigentümlich. Es werden deutlich drei Achsen bevorzugt: parallel zum elektrischen Feld, senkrecht dazu und in der Diagonalrichtung 7/39 (Abbildung 12 a). Der andere Diagonalsektor 24/56 wird gemieden. Die Orientierung nach der Himmelsrichtung ist diffuser (b).

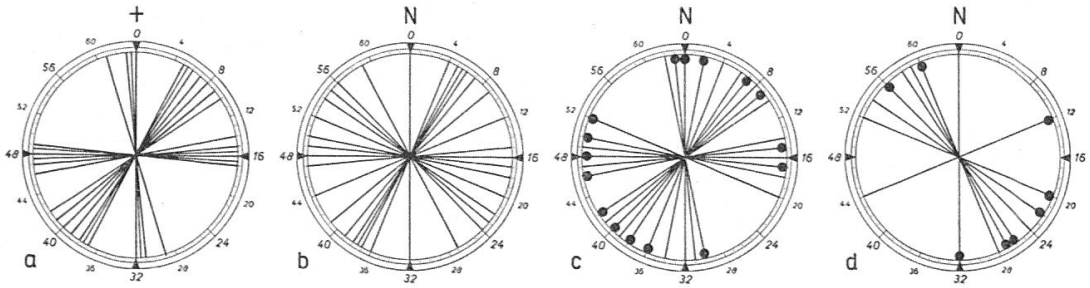

Abb. 12. — Eigenartige Bevorzugung der Parallel-, Quer- und einer Diagonalstellung zum elektrischen Feld (a), diffuse Orientierung bezüglich Nordsüd-Achse (b). Die Feldstellungen bei Käfern mit kurzen und mittleren Laufzeiten verteilen sich auf einen breiten Sektor (c) und nur bei Käfern mit extrem langen Laufzeiten (über 2 Stunden) bilden die entsprechenden elektrischen Felder ein geschlosseneres Bündel (d).

Unscharf abgegrenzte Konzentrationen finden sich vielleicht im Bereich der Achsen 6/38 und 19/51. Die Nordsüd-Achse ist relativ schwach besetzt.

Eine Gruppenbildung nach Unruhedauer gelingt hier nicht leicht. Für die Unruhezeiten von 10–100 Minuten verteilen sich die Feldstellungen auf einen grossen Bereich von 62–20 unter deutlicher Aussparung des Sektors 21–29 (c). Bei Käfern, welche nach 120 Minuten noch nicht zur Ruhe gekommen sind, liegen die meisten Feldstellungen gerade in dieser Lücke. Die Beziehung zwischen Feldstellung und Unruhedauer wird also nur noch an diesen wenigen, extrem aktiven Tieren augenfällig (d). Bemerkenswert ist die Ähnlichkeit der beiden Diagramme a und c, nicht nur hinsichtlich der drei Bündel in der Längs-, Quer- und Diagonalachse, sondern auch der Lücke in der zweiten Diagonale.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der einfache Schalentest bietet uns die Möglichkeit, in den sehr komplexen Bereich der biologischen Wirkung physikalischer Felder experimentell einzudringen. Das Verhalten der Maikäfer gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern sprengt den Rahmen des rein « Zufälligen », und viele Versuchsergebnisse lassen sich nur unter der Annahme deuten, dass die Maikäfer elektrische und magnetische Felder und ihre gegenseitige Lage als richtungs- und aktivitätsbestimmende Reize empfinden. Erschwerend wirkt der Umstand, dass neben diesen künstlich gesetzten, elektrischen und magnetischen Feldern noch wenigstens ein weiterer unbekannter, in seiner Intensität und Richtung wechselnder physikalischer Faktor wirksam ist, der die Käfer u. a. veranlasst, sich gelegentlich nach ganz bestimmten Himmelssektoren zu orientieren oder eine bestimmte Winkeleinstellung zum künstlichen elektrischen Feld einzunehmen.

Unter den vorliegenden Versuchsbedingungen führt eine gegenseitige Parallel- und Querstellung elektrischer und magnetischer Felder zu einer relativ raschen Beruhigung der Käfer, während Diagonalstellung die Aktivität erhöht. Die Käfer suchen eine bestimmte Ruhestellung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern einzunehmen. Zwischen Orientierung und Aktivität besteht insofern ein Zusammenhang, als vermehrte Unruhe mit einem Dilemma in der Orientierung nach zwei verschiedenen Bezugssystemen zusammenhängen könnte. Die Korrelation zwischen gegenseitiger Feldstellung und Aktivität tritt in einem Versuch (1) ausserordentlich deutlich hervor, wo die Stellung des künstlichen magnetischen Feldes gegenüber der geographischen Nordsüd-Achse immer wieder verändert wird und die Tendenz der Käfer, sich in einem bestimmten Winkel zur Himmelsrichtung oder zu einem der beiden künstlichen Felder einzustellen sehr

wenig ausgeprägt ist. Sobald die Käfer unabhängig von den elektrischen und künstlichen magnetischen Feldern eine bestimmte Himmelsrichtung bevorzugen, bricht die Korrelation zusammen (Versuch 2).

Die Aktivitätskorrelation ist auch nachweisbar, wenn statt eines künstlichen das starre erdmagnetische Feld zum künstlichen elektrischen Feld in Beziehung tritt und die Tiere normale und ausgeglichene Orientierungstendenzen nach dem elektrischen Feld und der Himmelsrichtung zeigen (Versuch 3 und 4). Sobald nun aber die Käfer sich extrem nach einem einzigen Bezugssystem orientieren und sich die Richtungsbündel der Diagramme aufspalten, so dass die Vorzugsachsen in spitzem Winkel aufeinanderstehen, wird die Korrelation gestört. Die Störung äussert sich darin, dass nur noch die extremen Aktivitätszeiten sich mit der Stellung des elektrischen Feldes in Beziehung setzen lassen (Versuch 5), die Feldstellungen mit kurzen und langen Aktivitätszeiten von der Parallelstellung beziehungsweise Diagonalstellung merklich abweichen (Versuch 6) oder auch für eine der Diagonalstellungen kurze Aktivitätszeiten registriert werden (Versuch 7). Diese Anomalien werden mit dem Wirksamwerden des eingangs erwähnten, seiner Natur nach unbekannten physikalischen Faktors zusammenhängen.

Von einer statistischen Bearbeitung des Versuchsmaterials wird vorläufig aus verschiedenen Gründen noch abgesehen. Erstens steht es jedem Interessenten frei, anhand der beigegebenen Diagramme nachzuprüfen, wieweit die Schlussfolgerungen statistisch gesichert werden können, denn sie stellen getreue Kopien der Versuchsprotokolle dar. Es wurden für die erwähnten Zeitspannen alle Einzelwerte samt allen Querschlägern auf den Teilstrich genau eingetragen. Nur wo zwei Werte zusammenfallen, ist der eine Wert aus graphischen Gründen um ½ bis maximal 1 Teilstrich verschoben worden. Einzig in Abbildung 2 und 3 beträgt die Abweichung bis zu 1 ½ Teilstrichen (Erläuterung im Text). Zweitens müsste die statistische Nachprüfung für jeden Versuch individuell vorgenommen werden, was mit einem beträchtlichen Zeitaufwand verbunden wäre und drittens besteht die Aussicht, dass die Beweisführung noch wesentlich erleichtert werden wird, sobald die Natur des noch unbekannten physikalischen Bezugssystems einmal abgeklärt sein wird.

Neben den angeführten Versuchen liegen heute schon sehr viele weitere Ergebnisse vor, welche gesamthaft beweisen, dass der Maikäfer sich nach Eliminierung des optischen Bezugssystems nach Himmelsrichtungen, elektrischen und magnetischen Feldern orientieren kann. Es ging in der vorstehenden Mitteilung nicht zuletzt darum, anhand konkreter Versuchsergebnisse einmal auf die ganze Problematik dieses neuartigen Orientierungstyps hinzuweisen. Man kann diese Orientierungsart « Feldorientierung » oder « Ultraoptische Orientierung » bezeichnen und unter diesen Begriffen alle jene Orientierungsphänomene zusammenfassen, die sich auf statische oder wechselnde

physikalische Felder beziehen unter Ausschluss der optischen Orientierung und der rein mechanisch erklärbaren Reaktionen auf das vertikale Gravitationsfeld der Erde.

Die Feldorientierung des Maikäfers unterscheidet sich in mancher Hinsicht von der optischen. Das Orientierungsverhalten ist sehr komplex, weil der Maikäfer nicht nur magnetischen sondern auch andern physikalischen Feldern gleichzeitig ausgesetzt ist und sich in der Regel in einer Dilemma-Situation befindet. Seine Wendungen und die definitive Ruhelage in der Versuchsschale sind wahrscheinlich weitgehend durch die momentane Feldsituation determiniert und stellen eine Art sinnesphysiologische Resultierende aus der Gesamtheit aller dieser physikalischen Einwirkungen dar. Richtung und Gegenrichtung sind oft gleichwertig, d. h. der Käfer sucht lediglich die Achse seines Körpers und nicht den Kopf nach einer bestimmten Richtung einzustellen. Senkrecht zu einer Vorzugsrichtung findet man häufig eine schwächer frequentierte Vorzugsrichtung zweiten Grades. Das Empfangsorgan für physikalische Felder kann sich theoretisch irgendwo im Zentralnervensystem befinden, z. B. im Gehirn oder in den Thorakalganglien. Im Gegensatz zum Auge ist seine periphere Lage nicht erforderlich, da die in Frage stehenden physikalischen Felder auch im Körperinnern wirksam sind.

Summary

Even after excluding optical orientation, cockchafers (*Melolontha vulgaris* F.) orientate in horizontal, dark glassdishes. They are influenced by artificial electric and magnetic fields and by at least one third penetrating physical factor, which varies in intensity and direction. Provided that the intensity of this third factor is not too high, the activity of the insects can be influenced by changing the mutual position of electric and magnetic fields. Parallel- and cross-position reduces activity, diagonal-position increases it. The reason of this phenomenon seems to be the tendency of the beetles, to seek more or less successfully an optimal angle relative to these two physical fields (field orientation).

LITERATUR

COUTURIER, A. & ROBERT, P., 1960. *Caractères particuliers des migrations du Hanneton commun (Melolontha melolontha L.)*. Verhandlung des XI. Internationales Entomologen-Kongresses in Wien 1960 (im Druck).

SCHNEIDER, F., 1952. *Untersuchungen über die optische Orientierung der Maikäfer (Melolontha vulgaris F. und M. hippocastani F.) sowie über die Entstehung von Schwärmbahnen und Befallskonzentrationen.* Mitteil. Schweiz. Entom. Ges., *25*, 269–340.

— 1957. *Neue Beobachtungen über die Orientierung des Maikäfers.* Schweiz. Zeitschr. f. Obst- und Weinbau, *66*, 414–415.

— 1960. *Der experimentelle Nachweis einer magnetischen und elektrischen Orientierung des Maikäfers.* Verhandl. d. Schweiz. Naturforsch. Ges., Aarau, 1960 (im Druck).