

EIN EINFACHES PRINZIP ZUR DEUTUNG EINIGER
PROPORTIONEN IM SPINNENNETZ

von

PETER N. WITT

Sonderabdruck aus: BEHAVIOUR

Vol. IV, 3



LEIDEN
E. J. BRILL
1952

EIN EINFACHES PRINZIP ZUR DEUTUNG EINIGER PROPORTIONEN IM SPINNENNETZ

von

PETER N. WITT

(Pharmakologisches Institut, Bern)

(Mit 14 Abb.)

(Eingeg. 28-II-1952)

Die Radnetzspinnen (Araneidae) ziehen beim Gehen immer einen Faden hinter sich her. Dies geschieht sowohl während des Netzbaues als auch ausserhalb der Netzbauzeit scheinbar zwangsläufig, und ich konnte nie eine solche Spinne beobachten, die lief ohne einen Faden hinter sich her zu ziehen. Wenn wir den Fadenverlauf später betrachten, erhalten wir also ein mehr oder weniger grobes Bild des Weges, den die Spinne zurückgelegt hat. Die Form dieses Weges wieder muss Rückschlüsse auf die Einflüsse erlauben, die während der Fortbewegung geherrscht haben. Wir könnten z.B. nachträglich einen gewundenen Weg von einem geraden unterscheiden, den einen als tastendes Suchen, den anderen als zielgerichtetes Laufen deuten.

Bei der Deutung des Weges wollen wir die Einflüsse in zwei Gruppen gliedern, jene die ständig gleichbleibend dem Weg die Richtung geben und jene die während kurzer Zeit eingreifen und vorübergehende Abweichungen von der Richtung verursachen. Die Einen wollen wir als Richtungs- die Anderen als Steuerkomponenten bezeichnen. Ein fertiges Spinnennetz (Abb. 1) ist danach der Ausdruck eines komplizierten Bewegungsablaufes während der Netzbauzeit, der von vielen Faktoren gelenkt ist. Die Betrachtung und Vermessung des Netzes erlaubt bei sinngemässer Deutung Rückschlüsse auf Zustand und Verhalten der Spinne in der Zeit, in der sie das Netz angelegt hat.

Die besondere Fragestellung unserer Arbeiten (PETERS & WITT, 1949; WITT, 1949 und 1951; PETERS, WITT, WOLFF, 1950; WOLFF & HEMPEL, 1951) bestand darin, Änderungen im Verhalten von Spinnen zu deuten, die durch den Einfluss von Substanzen hervorgerufen werden, die an bestimmten Stellen des Zentralnervensystems angreifen. Sollte es uns gelingen eine Spinne durch eine solche Substanz in der Netzbauzeit zu beeinflussen, so müsste sich ihr verändertes Verhalten im fertigen Netz aus-

Signalfaden (vom Schlupfwinkel zum Netzcentrum)



— Rahmen-
faden

— Radien

— Rahmen-
faden

Abb. 1. Normales Netz von *Zilla-x-notata* (eigene Photographie)

drücken. Nach Analyse des normalen Netzbaues im oben beschriebenen Sinne ist es dann auch möglich, auf die veränderte Funktion und damit den Angriffspunkt der Substanz zu schliessen.

In dieser Arbeit wollen wir eine Betrachtung der Klebspirale im Netz der Radnetzspinnen durchführen. Wir wollen versuchen, die Richtungskoordination zu finden, und einen Teil der variierend eingreifenden Steuerkomponenten aufzudecken. Dann wird ein erster Versuch gemacht werden, veränderte Klebspiralen zu deuten.

Die Proportionen der Klebspirale wurden schon von FABRE (1923) er-

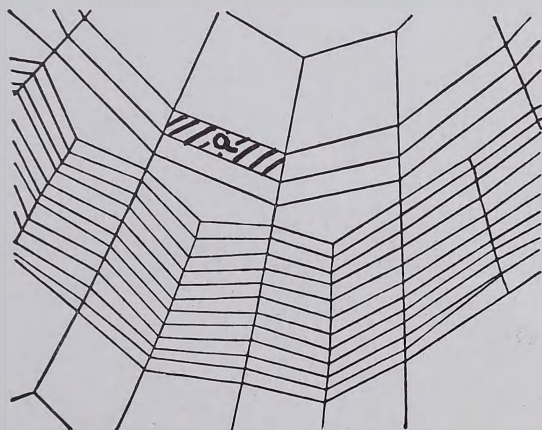


Abb. 2. Nach Fertigstellung eines Teiles der Klebspirale wurde jeder 2. Radialfaden durchtrennt. Beachte den grösseren Abstand der inneren Spiralumgänge. a = Segment. (Nach PETERS, 1939)

kannt und von PETERS in vielen hundert Netzen von *Aranea diadema*, *Meta reticulata* und *Zilla-x-notata* vermessen (1947, 1951). Zur Ergänzung dieser wertvollen Zahlenunterlagen benützten wir die Arbeiten von WIEHLE (1927, 1929), die uns darüber Auskunft geben, in welcher Reihenfolge die Teile des Netzes entstehen. Für die hier verfolgten Zwecke ist die Betrachtung eines Netzausschnittes wie des von PETERS (1947) vermessenen „Segmentes“ unzweckmässig. Dies „Segment“ (Abb. 2, a) ist zwar die kleinste Formeinheit im Netz, begrenzt „von je zwei benachbarten Klebfadenabschnitten und den zugehörigen Radialfadenabschnitten.“ Die 4 begrenzenden Fäden sind aber in verschiedenen Perioden des Netzbaues entstanden, ihnen liegen zum Teil verschiedene Trieb- und Orientierungsmechanismen zu Grunde. Die im Folgenden zu betrachtende Klebspirale stellt dagegen in der Zeit

und als Handlung ein kontinuierliches Gebilde dar, das bei abnormalem Verhalten systematischen Veränderungen unterworfen ist.

Vergegenwärtigen wir uns den Zeitpunkt im Netzbau, in dem die Klebspirale begonnen wird: Der Rahmen und die Radien sind gebaut (Abb. 3), ebenso hat die in grossen Umgängen von innen nach aussen ziehende Hilfs-

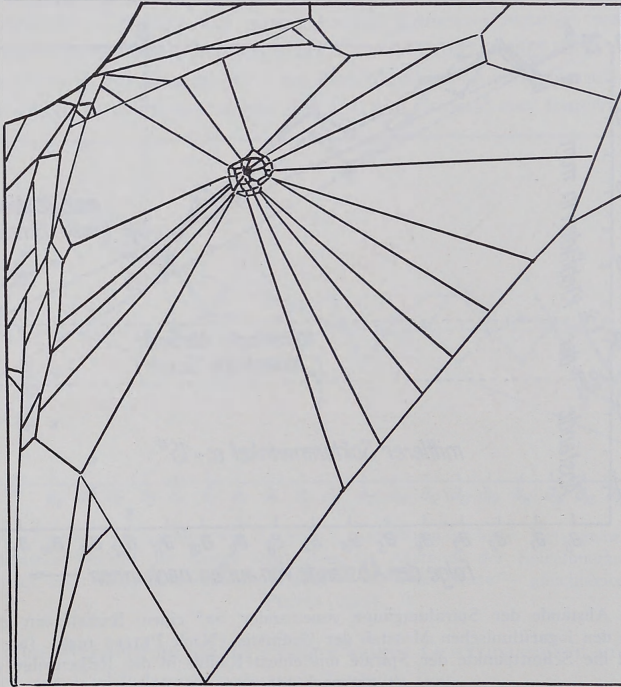


Abb. 3. Halbfertiges Netz von *Zilla-x-notata*. Die Rahmenfäden und ein Teil der Radien sind gezogen. (Eigene Photographie, durchgezeichnet)

spirale die Radien stabilisiert. Die Spinne beginnt nun, den Klebfaden von aussen nach innen zu ziehen. Dabei sehen wir schon den ersten Umgang einem Bogen eingeschrieben, der seine Orientierung irgendwo vom Zentrum des Netzes her zu beziehen scheint. Der Rahmenfaden läuft noch in grossen Zügen von einem Zweig oder Mauerteil zum anderen. Seine Richtung und Länge sind durch die Umgebung bestimmt, in der die Spinne baut. Dagegen drängt sich beim Betrachten der Klebspirale der Eindruck auf, dass jetzt ein Orientierungsmechanismus vorherrscht, für den die Umgebung des Netzes und der Rahmen keine Rolle mehr spielen. PETERS (1939) macht folgen-

den Versuch, das auszudrücken: „Die Spinne verfolgt auch irgendwie den kurvenmässigen Verlauf als solchen.“

Eine optische Orientierung nach dem von der Spinne in diesem Augenblick weit entfernten Netzcentrum wäre möglich. Aber durch die Untersuchung von BALTZER (1923) und Anderen wissen wir, dass zumindest beim Beutefang, aber auch wohl sonst im Leben der Radnetzspinnen, die optische Ori-

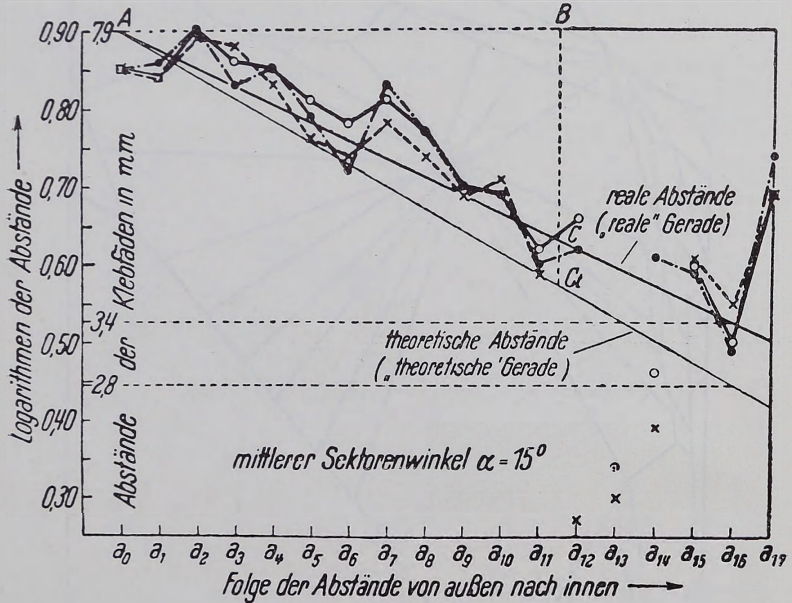


Abb. 4. Abstände der Spiralumgänge voneinander, auf einem Radialfaden gemessen. Beachte den logarithmischen Masstab der Ordinate. (Nach PETERS 1947). ($a_0, a_1, a_2 \dots a_{17}$ sind die Schnittpunkte der Spirale mit einem Radius in der Reihenfolge von aussen nach innen.)

tierung keine grosse Rolle spielen kann ¹⁾). Die vorwiegend haptisch bestimmte Umwelt der Spinne ist zwar durch die gespannten Fäden des Netzes für Wahrnehmungen ausserhalb der Reichweite der Beine eingerichtet, aber diese Wahrnehmungsmöglichkeiten sind eng begrenzt, sowohl durch Zahl als auch Richtung und Länge der Fäden. Wir können uns also nur schwer vorstellen, dass das Tier sich beim Beginn der Klebspirale nach dem Centrum

1) Auch histologisch konnte nachgewiesen werden, dass gerade die Radnetzspinnen, im Gegensatz zu Springspinnen (Salticidae), stark rückgebildete primäre und sekundärkoordinative Sehzentren haben. (HANSTRÖM 1928, 1934) Ferner wird der Sitz der Spinne in der Netzmitte, also mit dem Rücken zu einer Netzhälfte, als Argument für die Tatsache angeführt, dass sie sich nicht optisch orientiert.

des Netzes orientiert, — wir würden vielmehr eine Erklärung der Richtung des Klebfadenverlaufes bevorzugen, die auf lokaler Orientierung beruht.

Der weitere Verlauf der Klebspirale macht uns die Erklärung nicht einfacher: 2 Proportionen haben dabei immer wieder die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich gezogen. Schon FABRE (1923) beschreibt die Kurve, der der Klebfaden einbeschrieben ist, als logarithmische Spirale, d.h. die Abstände der Umgänge auf einem Radius gemessen nehmen von aussen nach innen in geometrischer Reihe ab. PETERS (1947) trägt diese Abstände in logarithmischem Masstab auf, um ihre Abnahme in einer Geraden darzustellen (Abb. 4). Auch hier ergibt sich also anscheinend eine dauernde Bezie-

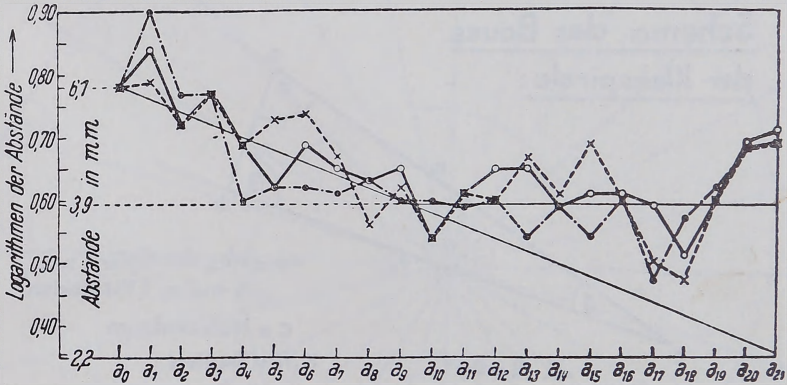


Abb. 5. Dieselben Masszahlen wie in Abb. 4, aus einem anderen Netz gemessen. Der zweiphasische Verlauf der Kurve zeigt, dass die Abstände der Spiralumgänge zuerst von aussen nach innen abnehmen, dann aber — nahe der Mitte — gleichbleiben. (Nach PETERS 1947).

hung zum Netzzentrum, da die einzig erkannte Gesetzmässigkeit in den Abständen der Klebfadenumgänge vom Zentrum liegt.

Schliesslich müssen wir noch auf eine Beobachtung hinweisen, die auf eine scheinbar komplizierte Orientierung der Spinne beim Anlegen der Klebspirale hinweist. PETERS (1939) brannte im Verlauf der Anlage der Klebspirale jeden zweiten Radialfaden durch. Die Folge war, dass sich die Abstände der Klebfäden voneinander ungefähr verdoppelten. (Abb. 2). Er schloss daraus, dass die Spinne den Abstand und Verlauf der Radien beim Festlegen des Abstandes der Klebfäden berücksichtigt, was er in der „Segmentregel“ 1) ausdrückt. Auch hier also scheinbar ein komplexer Orientie-

1) „Die genannte Regel besagt nun, dass die Spinne unter gewissen Strukturbedingungen dahin tendiert, die Abstände so zu wählen, dass das Verhältnis von Höhe und Breite der Segmente konstant bleibt, also ähnliche Segmente erzeugt werden.“ PETERS, H. M.: Zur Geometrie des Spinnen-Netzes (1947).

rungsmechanismus, der sich nicht einfach nach dem vorigen Spiralumfang, sondern nach Winkelgrösse und Abstand vom Zentrum richtet.

Als Letztes scheinen alle diese Regeln aufgehoben, wenn die Spinne sich dem Zentrum nähert. Der Abstand von Radius zu Radius wird kleiner, und die Spinne baut in gleichmässigem Abstand Spiralumgänge, die sich einzig am jeweils letzten Umgang zu orientieren scheinen. (Abb. 5)

Wir wollen nun über die Orientierung der Spinne beim Anlegen der Klebspirale eine möglichst einfache Annahme machen und sehen, wie weit wir die vorhandenen Gesetzmässigkeiten des Netzes damit in Zusammenhang bringen können. Das relativ kleine Tier befindet sich, nach Fertigstellung

Schema des Baues der Klebspirale:

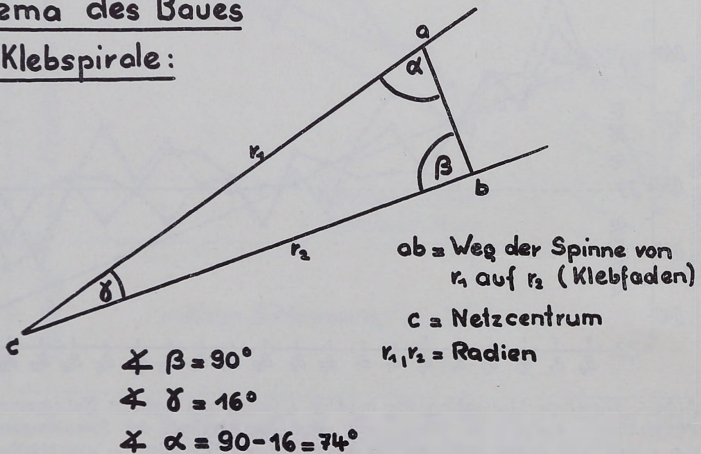


Abb. 6. Schema des Verlaufes des Klebfadens von einem Radius zum nächsten auf dem kürzesten Wege.

der Hilfsspirale, aussen im Netz. Die Radien sind hier weit voneinander entfernt, Zentrum und Rahmen bieten keine unmittelbare Hilfe. Die Spinne (Abb. 6) befestigt also den Beginn ihres Klebfadens (a) an einem Radius (r_1) nahe am Rahmen und steigt, erst mit den Vorderbeinen, dann mit allen anderen Beinen, auf den nächsten Radius (r_2) hinüber. Wenn sie hierbei keine andere Hilfe hat, wird sie wahrscheinlich den kürzesten Weg von Radius zu Radius wählen. Sie befestigt hierauf den Faden am zweiten Radius an ihrem Sitzplatz (b) d.h. ungefähr im kürzesten Abstand vom vorigen Anheftepunkt. Hierdurch entsteht ein Dreieck, gebildet aus 2 Radialfäden (r_1 und r_2) und dem neuen Klebfaden (ab), dessen einer Winkel (an der Ankunftsstelle) β ein rechter ist, dessen

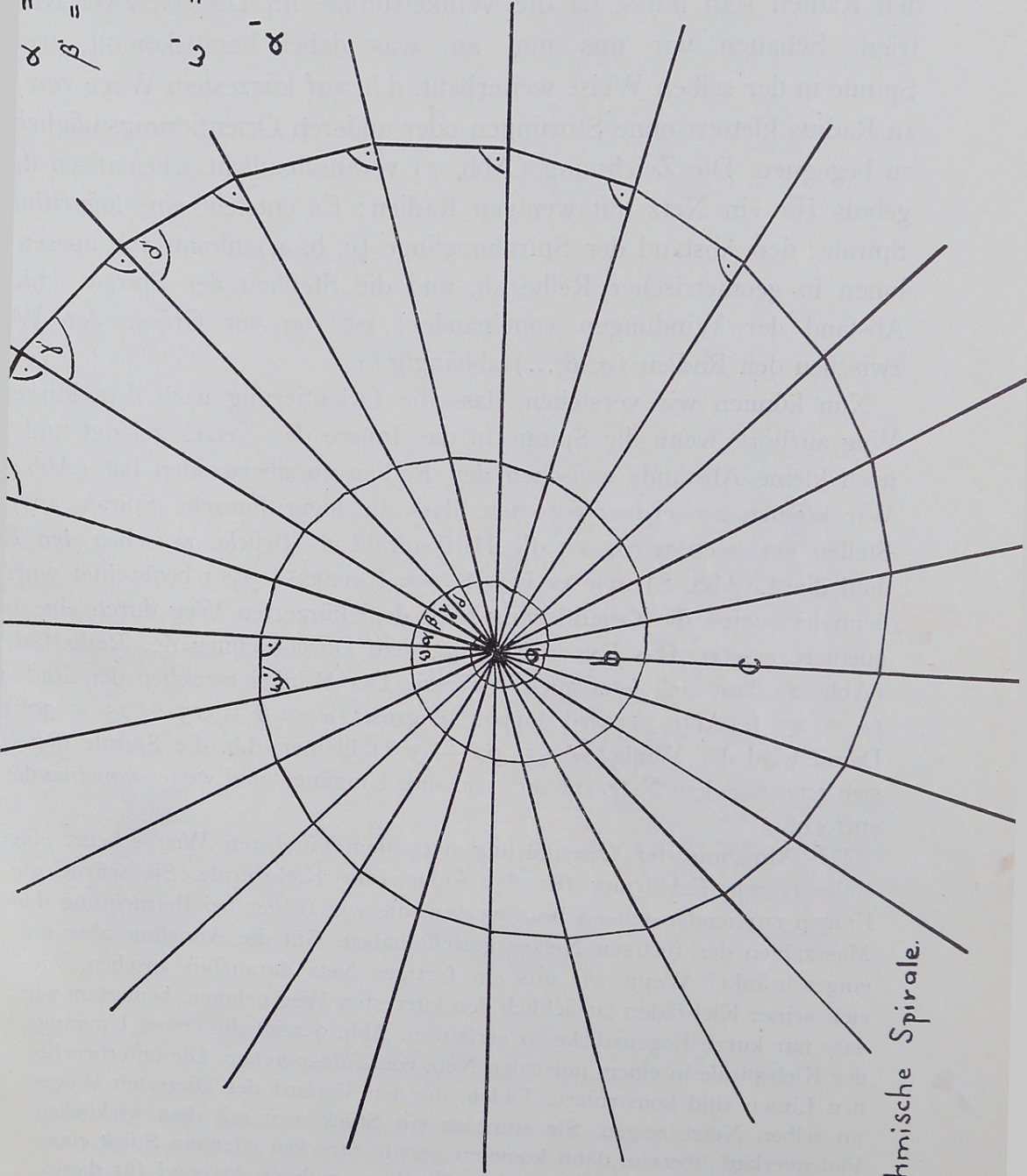
$$\alpha = \gamma$$

$$\beta = 90^\circ - \beta$$

⋮

$$\omega = 90^\circ - \omega$$

$$\alpha' = \beta' = \gamma' = \dots = \omega'$$



Logarithmische Spirale.

Abb. 7. Logarithmische Spirale mit rechten Winkeln (.), in ein construiertes Netz mit 24 Radien eingezeichnet.

zweiter (zwischen den Radien) γ bei Anlage der Radien bereits festgelegt wurde, und dessen dritten Winkel α ein rechter minus der Winkel zwischen den Radien sein muss, da die Winkelsumme im Dreieck zwei Rechte beträgt. Schauen wir uns nun an, was dabei herauskommt, wenn die Spinne in der selben Weise weiterbaut, d.h. auf kürzestem Wege von Radius zu Radius klettert ohne Störungen oder anderen Orientierungsmöglichkeiten zu begegnen. Die Zeichnung (Abb. 7) veranschaulicht schematisch das Ergebnis für ein Netz mit wenigen Radien: Es entsteht eine logarithmische Spirale; der Abstand der Spiralumgänge (c, b, a,) nimmt von aussen nach innen in geometrischer Reihe ab, und die Steilheit der Spirale (d.h. der Abstand der Windungen voneinander) ist von der Grösse der Winkel zwischen den Radien (α, β, \dots) abhängig¹).

Nun können wir verstehen, dass die Orientierung nach dem kürzesten Weg aufhört, wenn die Spinne in das Innere des Netzes gelangt und nur noch kleine Abstände zwischen den Radien zu überwinden hat (Abb. 5). Wir können ausserdem einsehen, dass die logarithmische Spirale an den Stellen verlassen wird, wo die Hilfsspirale als Brücke zwischen den Radien dient (Abb. 8), wie es bereits von PETERS (1951) beobachtet wurde, denn hier wird die Orientierung nach dem kürzesten Weg durch eine bequemere ersetzt. Das Experiment mit dem Durchbrennen der Radialfäden (Abb. 2) lässt sich jetzt auch erklären: Der Winkel zwischen den Radien ($\alpha = 15^\circ$) (Abb. 7) wird doppelt so gross ($\alpha + \beta = 15 + 15 = 30^\circ$). Damit wird der Winkel α' ($= 90 - 30^\circ$) kleiner, d.h. die Spirale nähert sich schneller dem Netzzentrum, und ihre Umgänge sind weiter voneinander entfernt.

Die Annahme der Orientierung nach dem kürzesten Weg scheint eine einleuchtende Erklärung für die Anlage der Klebspirale. Sie würde die Fragen zufriedenstellend beantworten, die wir früher bei Betrachtung der Masszahlen des fertigen Netzes gestellt haben. Gilt die Annahme aber uneingeschränkt? Wenn wir uns ein fertiges Netz daraufhin ansehen, wieviele seiner Klebfäden tatsächlich den kürzesten Weg nehmen, bemerken wir dass nur kurze Bogenstücke so verlaufen. Abb. 9 zeigt die ersten Umgänge der Klebspirale in einem normalen Netz von *Zilla-x-notata*. Die unterbrochenen Linien sind konstruierte Fäden, die den Verlauf des kürzesten Weges im selben Netz zeigen. Sie stimmen ein Stück weit mit dem wirklichen Fadenverlauf überein, dann kommen gerade Strecken oder ein Stück einer stärker gekrümmten Kurve. Welche Einflüsse anderer Art sind für dieses Ergebnis verantwortlich?

1) Das Wissen über die hier wichtigen Eigenschaften der logarithmischen Spirale verdanke ich der freundlichen Hilfe von Herrn Prof. Dr. HADWIGER, Bern und Herrn P. PANETH, St. Gallen.

Wie schon anfangs, erwähnt ist der Fadenverlauf des fertigen Netzes nur ein angenähertes Abbild des tatsächlichen Bewegungsablaufes. Z.B. befinden sich die Radien während des Baues oft in einer anderen Lage, als dann im fertigen Netz. Ein waagrecht verlaufender Radius ist in dem Augenblick,

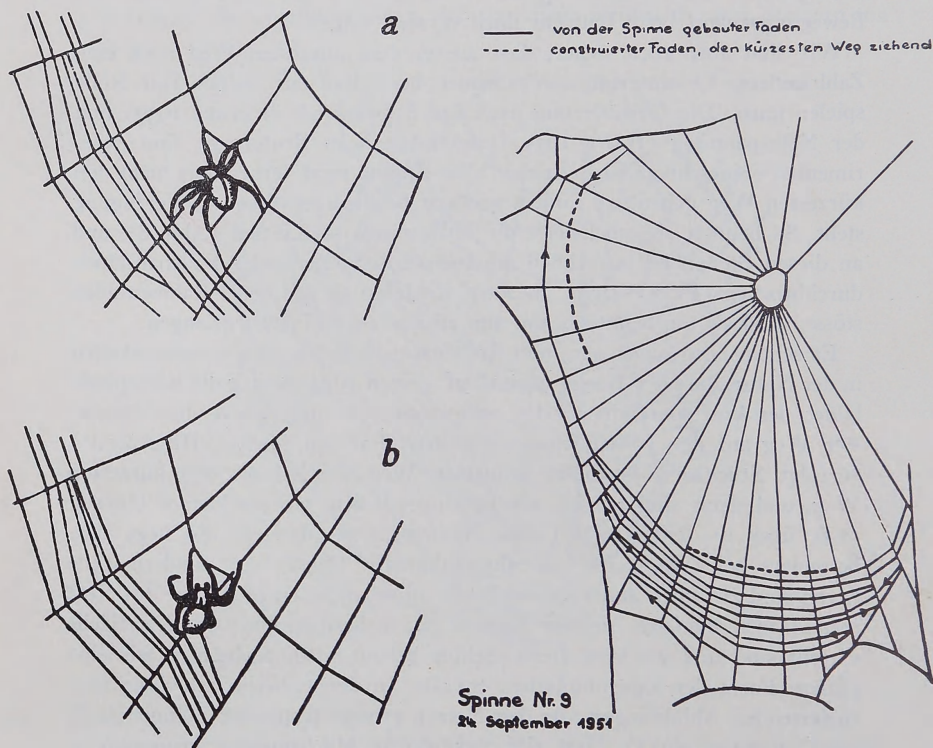


Abb. 8 a und b. *Aranea diadema* beim Netzbau von Radius zu Radius steigend. (Nach einer Filmaufnahme von PETERS durchgezeichnete Bilder).

Abb. 9. Netz von *Zilla x-notata* mit begonnener Klebspirale und konstruierten Ergänzungen. (Eigene, durchgezeichnete Photographie).

in dem die Spinne daran hängt und den Klebfaden befestigt, nach oben concav durchgebogen. Wenn die Spinne dann weitergeht, — den Radius wieder entlastet, — schnellert er in die ursprüngliche Lage zurück, eine Gerade zwischen den beiden Ansatzpunkten bildend. Hierbei muss sich der neuentstandene Winkel, gebildet aus Radius und Klebfaden, verziehen. Im oberen und unteren Teil des Netzes verlaufen die Radien senkrecht, sie werden

durch das Gewicht des Tieres weniger verzogen, und dies ist vielleicht der Grund, warum die Messungen an oberen und unteren Netzteilen immer die reinsten geometrischen Proportionen ergaben (PETERS und andere). Auch ein Netz, bei dem nachträglich Fäden zerrissen sind oder die Photographie nicht parallel zur Netzfläche gemacht wurde, kann uns den ursprünglichen Bewegungsablauf beim Bau nur noch verzerrt zeigen.

Wir sind aber auch sicher, dass ausser dem kürzesten Weg noch eine Zahl anderer Orientierungsmechanismen beim Bau der Spirale eine Rolle spielen muss. Die Orientierung nach der Schwerkraft (PETERS 1939) und der Netzspannung (DAHL 1931) (zumindest beim Beutefang) sind experimentell erforscht und beschrieben. Die Spinne wird ferner dort nicht den kürzesten Weg gehen, wo ihr ein anderer, bequemerer Weg zur Verfügung steht. So benutzt sie stückweise die Hilfsspirale als Leitseil (Abb. 8), und an diesen Stellen ist tatsächlich die geometrische Reihe der Fadenabstände durchbrochen (PETERS 1939, S. 206). Auch wo sie auf einen Rahmenfaden stösst, wird sie ihn benutzen, um von Radius zu Radius zu gelangen.

Es scheint also so zu sein, und das entspricht anderen Gesetzmässigkeiten in der Natur, dass der Bewegungsablauf, dessen Niederschlag die Klebspirale bildet, den kraftsparendsten oder, anthropomorph ausgedrückt, den bequemsten Weg auf den vorhandenen Netzteilen (Rahmen, Radien, Hilfsspirale) verfolgt. Stückweise ist dieser bequemste Weg identisch mit dem kürzesten Weg, und dann sind wieder Stücke eingeschoben, wo ein kleiner Umweg (z.B. über die Hilfsspirale) eine Kraftersparnis darstellt. So liegt also, besonders bei *Zilla*, keine reine logarithmische Spirale vor, sondern Teile davon sind zwischen anders verlaufende Spiralstücke eingeschoben. Im Netz von *Aranea diadema*, dessen Radien gleichmässiger über die Netzfläche verteilt sind und wo kein freier Sektor gebaut wird, beobachten wir eine reinere Form der logarithmischen Spirale. In den teilweise schwierig auszuwertenden Abbildungen von den Netzen grosser tropischer Spinnen (z.B. bei COMSTOCK, 1913), lässt sich der gleiche Mechanismus ausmessen¹⁾.

Es erscheint erstaunlich, dass die Gesetzmässigkeiten der Orientierung bei *Zilla* überhaupt noch zu erkennen sind. Das Vorhandensein dieser Gesetzmässigkeiten wird aber durch die angeführten Messungen und Abbildungen wahrscheinlich gemacht, die von anderen Autoren stammen (FABRE 1923, PETERS 1947) und mit anderer Bestimmung ausgeführt worden sind. Wir möchten also vorschlagen, dass man den Orientierungsmechanismus des kürzesten Weges als Richtungskoordination beim Bau der Klebspirale auffasst, in welchen bekannte und unbekannteste Steuerkomponenten vorübergehend eingreifen.

1) Entsprechende Messergebnisse im Detail bleiben einer späteren, ausführlicheren Arbeit vorbehalten.

Gehen wir nun zum pharmakologischen Experiment an Spinnen über, und versuchen wir die eben gewonnenen Erkenntnisse darauf anzuwenden. Vielleicht haben wir eine Möglichkeit erhalten, die beobachteten Störungen im Netzbau aufzugliedern. Fünf unter Substanzwirkung gebaute abnorme Netze sollen als Beispiel dienen. Aus meinen früheren Arbeiten geht hervor, dass es sich bei den Veränderungen nicht um Einzelbeobachtungen, sondern um

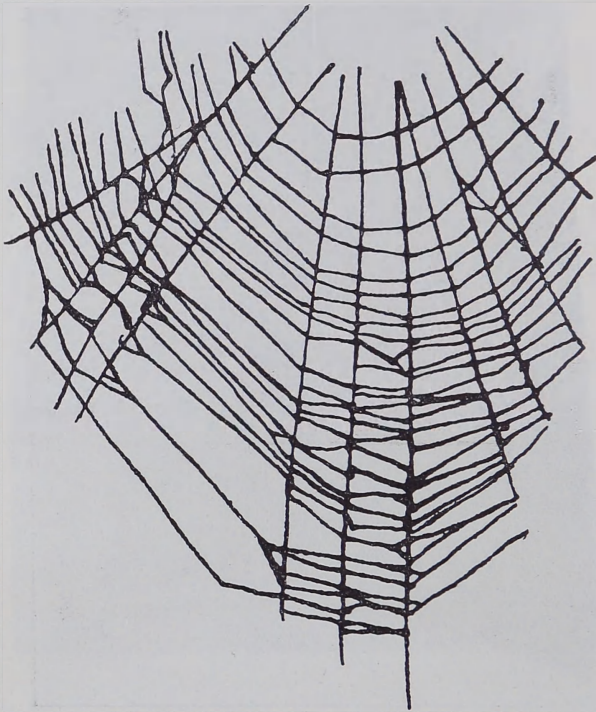


Abb. 10. Ausschnitt aus einem Netz von *Zilla-x-notata*, das unter dem Einfluss von Pervitin gebaut wurde. (Durchgezeichnete Photographie von WOLFF und HEMPEL, 1951).

eine für eine bestimmte Substanz charakteristische, gesetzmässig auftretende Wirkung handelt.

Die Technik der Versuche ist bei PETERS, WITT & WOLFF (1950) näher beschrieben. Hier sei zum besseren Verständnis kurz so viel wiederholt: Jede in einem Holzrähmchen angesiedelten und mehrere Tage im normalen Netzbau beobachteten Spinnen bekommt zu einer bestimmten Stunde die zu untersuchende Substanz in Zuckerwasser gelöst in einer Fliegenattrappe ins Netz geworfen. Nach einigen Minuten wird durch Wägen festgestellt, wie viel Substanz die Spinne getrunken hat, dann wird das alte Netz zer-

schnitten. Das während der Nacht unter Substanzwirkung gebaute Netz wird am Morgen mit NH_4Cl beraucht und vor einem dunklen Hintergrund photographiert. Die einzelnen Proportionen wie Netzgrösse, Winkelregelmässigkeit, Klebfadenabstände, Lage des Mittelpunktes *etc.* werden nach einem festgelegten Schema auf der Photographie vermessen. Das Messergebnis wird mit den auf gleiche Weise gewonnenen Proportionen der Nor-



Abb. 11. Netz von *Zilla-x-notata*, unter dem Einfluss von Benzopyran gebaut.
(Eigene Aufnahme)

malnetze derselben Spinne am Tage vorher und 5 Tage danach verglichen. — Die Abweichungen unter Substanzwirkung lagen im Allgemeinen ausserhalb der Extremwerte der Normalnetze; andernfalls wurde eine statistische Auswertung in Bezug auf die Signifikanz der Unterschiede mit dem T-Test von STUDENT vorgenommen. Es gelangten mehrere Hundert Substanznetze und mehrere Tausend Normalnetze zur Auswertung.

Im Netz Nr. 1 (nach Pervitin, Abb. 10) scheint uns die Richtungskoordination erhalten zu sein, während starke Störungen, — vermutlich in Form von Muskelzuckungen —, beim Anheften des Fadens aufgetreten sind.

Tragen wir die Abstände der Klebfäden in gleicher Weise wie PETERS (in Abb. 4) auf, bekommen wir Streuwerte um eine gleich wie dort verlaufende Gerade¹⁾. Es sieht so aus, als ob die Spinne ihren Weg gut orientiert gelaufen sei, nur den hinterhergezogenen Faden ein Mal rechts, ein Mal

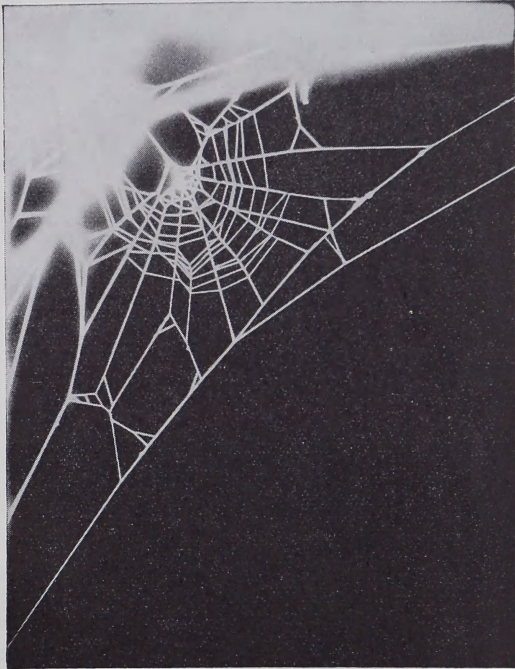


Abb. 12. Netz von *Zilla-x-notata*, unter dem Einfluss von Coffein gebaut. (Eigene Photographie).

links des Weges angeheftet hat. Die Deutung der Veränderung hiesse also: Koordiniertes Laufen mit motorisch gestörtem Fadenanheften.

Im Netz Nr. 2 (nach Benzopyran, einer haschischwirksamen Reinsubstanz, Abb. 11) ist die Spirale zwar „falsch“ begonnen, — zu weit innen — aber sie ist dann ohne erkennbare Störung der Richtungskoordination und der Steuerkomponenten weitergebaut. Hier handelt es sich scheinbar um die Störung einer Funktion, die beim Beginn der Klebspirale den Anhefteort bestimmt, später aber keine Rolle mehr spielt. Die Deutung: Scharf abge-

1) Entsprechende Messergebnisse im Detail bleiben einer späteren, ausführlicheren Arbeit vorbehalten.

grenzte Störung einer einzigen, noch unbekanntnen Funktion, die während des Baues der Klebspirale nicht eingreift; sonst normal.

Im Netz Nr. 3 (nach Coffein, Abb. 12) sieht es so aus, als ob die Orientierung beim Bau der Klebspirale völlig verloren, dann wider zeitweise in Funktion sei. Der veränderte Verlauf der Radialfäden macht hier eine

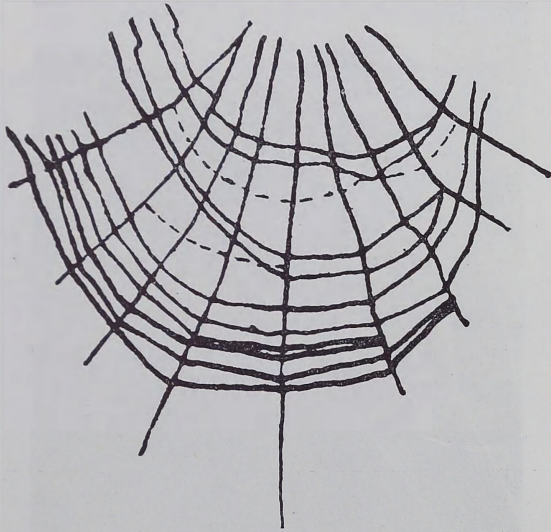


Abb. 13. Ausschnitt aus einem Netz von *Zilla-x-notata*, unter dem Einfluss von Scopolamin gebaut. (Durch gezeichnete Photographie von WOLFF & HEMPEL, 1951).

Beurteilung der Klebspirale schwierig. Die Grundstruktur bleibt aber, wie in einer früheren Arbeit (PETERS, WITT, WOLFF 1950) besprochen, erhalten. Deutung: Störung einer ganzen Anzahl von Funktionen und deren Zusammenspiel, während elementare Koordinationen erhalten sind.

Dann liegt wohl im Netz Nr. 4 (nach Skopolamin, Abb. 13) eine besondere Art der Störung vor. Der Weg der Spinne im Netz (Richtungs-koordination) stimmt überhaupt nicht mehr¹⁾. Im Vergleich mit Netz Nr. 1 sind aber keine anderen Störungen im Bewegungsablauf zu beobachten. Deutung: Periodisch auftretende zentrale Störung des Orientierungsmechanismus nach dem bequemsten und kürzesten Weg — bei intakter Motorik und Sensorik.

Das Netz Nr. 5 schliesslich wurde nach d-Lysergsäureäthylamid gebaut (Abb. 14), einem Phantasticum der Mutterkornalkaloidgruppe, das beim Menschen merkwürdige, etwas an Schizophrenie erinnernde Bilder her-

1) HEIMANN (1952) deutet seine Beobachtungen der Scopolaminwirkung am Menschen als „mangelnde Beharrungstendenz der intentionalen Gerichtetheit“.

vorrufft (STOLL 1947). Die Messung (WITT 1951) ergibt, dass das Netz abnormal regelmässig ist, d.h. die Proportionen besonders rein herauskom-

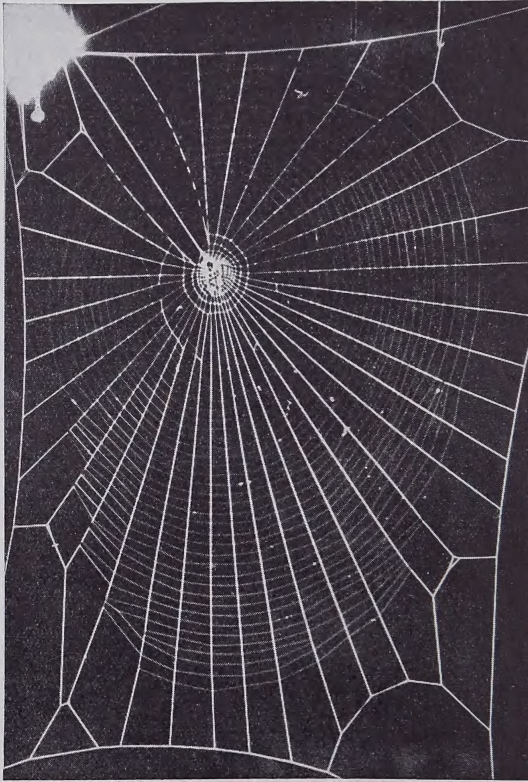


Abb. 14. Netz von *Zilla-x-notata*, unter dem Einfluss von d-Lysergsäure diaethylamid gebaut. (Eigene Photographie).

men. Die „störenden“ Steuerkomponenten treten mehr als gewöhnlich zurück. Die Spinne lässt sich also scheinbar weniger durch von aussen herantretende Einflüsse von ihrem Wege abbringen, ihr Kontakt zur Aussenwelt ist vermindert. Deutung: Überwiegen der Orientierung nach dem kürzesten Weg durch Wegfall vorübergehend eingreifender Steuerkomponenten. Intakte Motorik.

Ist es uns also gelungen die Mechanismen, die den Bau der Klebspirale beeinflussen, im pharmakologischen Experiment zu trennen? Wenn die oben gegebenen Deutungen richtig sind, würden wir bei Netz Nr. 4 (Abb.

13) von einer Ausschaltung der Richtungskomponenten bei intakten Steuerkomponenten sprechen müssen. Die Spinne läuft nicht mehr den kürzesten Weg, aber sie nimmt z.B. bereits vorhandene Fäden wahr, wenn sie auf sie stösst und vermeidet sie, aber sie läuft im Ganzen keine Spirale mehr. Im Gegensatz dazu würde bei 1 und 5 (Abb. 10 und 14) die Richtung in Ordnung, die Steuerkomponenten gestört sein. Im Netz 5 treten die eingreifenden Komponenten so weit zurück, dass eine Spirale von in der Natur nie beobachteten Regelmässigkeit zu Stande kommt. Bei 2 wäre keiner von beiden Mechanismen, bei 3 (Abb. 12) beide gestört.

Diese Folgerungen scheinen uns die Voraussetzung, dass 2 Gruppen von Einflüssen den Verlauf der Klebspirale bedingen, wahrscheinlicher zu machen, denn es lassen sich nur dort zwei Funktionsgruppen durch wechselweise Ausschaltung trennen, wo wirklich zwei vorhanden sind. Das bedeutet: eine wechselweise Ausschaltung der zwei angenommenen Orientierungsmechanismen durch das pharmakologische Experiment macht es wahrscheinlich, dass die Orientierung beim Bau der Klebspirale tatsächlich nach zwei pharmakologisch trennbaren, aber normaler Weise zusammenwirkenden Mechanismen erfolgt.

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Beobachtung, dass der Faden im fertigen Netz der Radnetzspinnen *Aranea diadema*, *Zilla-x-notata* und *Meta reticulata* den Weg zeigt, den die Spinne beim Bau der Netze zurückgelegt hat, wird der Versuch gemacht die Einflüsse zu differenzieren, die die Bewegungen bei der Anlage der Klebspirale gesteuert haben.

Wenn wir annehmen, dass die Richtung der Spirale auf weite Strecken durch den bequemsten Weg der Spinne von Radius zu Radius gegeben ist (d.h. den Weg, der den geringsten Kraftaufwand erfordert) und dass sie von diesem Wege nur vorübergehend unter dem Einfluss von örtlich auftretenden Sinneseindrücken abweicht, können wir einige der bekannten Proportionen der Klebspirale erklären. Ein Teil des bequemsten Weges ist der kürzeste Weg von Radius zu Radius, der weiterverfolgt eine logarithmische Spirale ergibt. Die Messungen früherer Autoren haben einen solchen Verlauf der Klebspirale bereits erwiesen, ohne die Gründe dafür zu untersuchen.

Weiter wird darauf hingewiesen, dass das fertige Netz nicht überall dem im Bau befindlichen entspricht. Besonders die Proportionen der seitlichen Teile des photographierten Netzes weichen von denen des im Bau befindlichen ab, da hier das Be- und Entlasten der wagerechten Radien durch die Spinne ein Verziehen der Winkel bewirkt. Das Mittelstück des Netzes zeigt im oberen und unteren Teil die Gesetzmässigkeiten des Baues reiner.

An Hand von Beispielen einiger Radnetze, die unter dem Einfluss von neurotropen Substanzen gebaut worden sind, konnte ausserdem gezeigt werden, dass die verschiedenen Funktionen, die den Verlauf der Klebspirale beeinflussen, durch Substanzwirkung einzeln ausgeschaltet werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

- BALTZER, F. (1923). Beiträge zur Sinnesphysiologie und Psychologie der Webespinnen.
— Mitt. d. naturf. Ges. Bern.
COMSTOCK, J. H. (1913). The spiders book. — New York.

- DAHL, F. (1931). Die Tierwelt Deutschlands, Arachnoidea, 23.
- FABRE, J. H. (1923). Souvenirs entomologique, 9. — Paris.
- HANSTRÖM, B. (1928). Vergleichende Anatomie des Nerven Systems der wirbellosen Tiere. — Berlin.
- (1934). Fortgesetzte Untersuchungen über das Araneengehirn. — Zool. Jb. Abt. Anat. 59, p. 455.
- HEIMANN, H. (1952). Die Scopolaminwirkung. — Monatschr. f. Psychiatrie (Beiheft).
- PETERS, H. M. & WITT, P. N. (1949). Die Wirkung von Substanzen auf den Netzbau der Spinnen. — Experimentia 5, p. 161.
- PETERS, H. M. & WITT, P. N. & WOLFF, D. (1950). Die Beeinflussung des Netzbaues der Spinnen durch neurotrope Substanzen. — Zschr. f. vergl. Physiol. 32, p. 29.
- PETERS, H. M. (1947). Zur Geometrie des Spinnen-Netzes. — Zschr. f. Naturforsch. 2b, p. 229.
- (1951). Untersuchungen über die Proportionierung im Spinnen-Netz. — Zschr. f. Naturforsch. 6b, p. 90.
- (1939). Ueber das Kreuzspinnennetz und seine Probleme. — Zschr. f. Morph. & Oekol. d. Tiere 36, p. 186.
- (1939). Probleme des Kreuzspinnennetzes. — Die Naturwiss. 27, p. 777.
- STOLL, W. A. (1947). Lysergsäure-diaethylamid, ein Phantasticum aus der Mutterkorngruppe. — Schweiz. Arch. Neurol. & Psych. 60, p. 1.
- WIEHLE, H. (1927). Beiträge zur Kenntnis des Radnetzbaues der Epeiriden, Tetragnathiden & Uloboriden. — Zschr. f. Morph. & Oekol. d. Tiere 8, p. 468.
- (1929). Weitere Beiträge zur Biologie der Araneen, insbesondere zur Kenntnis des Radnetzbaues. — Zschr. f. Morph. & Oekol. d. Tiere 15, p. 281.
- WITT, P. N. (1949). Verschiedene Wirkung von Coffein und Pervitin auf den Netzbau der Spinne. — Helv. Phys. Acta 7, p. C 65.
- (1951). d-Lysergsäure-diaethylamid (LSD 25) im Spinnentest. — Experimentia 7, p. 310.
- WOLFF, D. und U. HEMPEL (1951). Versuche über die Beeinflussung des Netzbaues von *Zilla-x-notata* durch Pervitin, Scopolamin und Strychnin. — Zschr. f. vergl. Physiol. 33, p. 497.

SUMMARY

The thread in the finished orb web of *Aranea diadema*, *Zilla-x-notata* and *Meta reticulata* shows the route followed by the spider in spinning. This route is the result from movements steered by a number of different influences. On this basis an attempt has been made to interpret the viscid spiral of the web of the orb web spiders.

Some of the known proportions can be explained by assuming that the spider chooses as a direction the most comfortable route, i.e. the one which requires the least effort (the most saving in strength), and that it degresses from this course cursorily when under the influence of emerging local stimuli. Part of the most congenial route is the shortest distance from radius to radius which, when pursued, results in a logarithmic spiral. Measurements carried out by previous authors^{*)} have already established this quality for the viscid spiral without analysing the underlying causes.

The completed web does not show everywhere the same proportions as the web under construction. In particular, the proportions of the areas to the right and left of the centre, as seen in the photograph, differ from those in an unfinished web, since the shifting weight of the spider on the horizontal radii results in a distortion of the angles. The section of the web above and below the centre demonstrates more clearly the laws of its construction.

With examples of orb webs spun under the influence of neurotropic substances, we have also demonstrated that the different functions playing a part in the construction of the viscid spiral can be eliminated separately.

*) exper. Peters
 * Pervitin, Haschisch, Caffeine, Scopolamine, d-Lysergic acid diethylamide.