

Geweben. *Flora* (Jena) **132**, 253 (1938) — Die lumineszenzmikroskopische Analyse des Transpirationsstromes in Parenchymen. 1. Mitt. Die Methode und die ersten Beobachtungen. *Flora* (Jena) **133**, 56 (1938) — Die lumineszenzmikroskopische Analyse des Transpirationsstromes in Parenchymen. 2. Mitt. Die Eigenschaften des Berberinsulfates und die Speicherung durch die Zelle. *Biol. Zbl.* **59**, 274 (1939) — Die lumineszenzmikroskopische Analyse des Transpirationsstromes in Parenchymen. 3. Mitt. Untersuchungen an *Helxine Soleirolii* Req. *Biol. Zbl.* **59**, 409 (1939) —

Studien über den Transpirationsstrom im Blatt von *Secale cereale* und *Triticum vulgare*. *Z. Bot.* **35**, 97 (1940). — A. URSPRUNG, Über die Kohäsion des Wassers im Farnannulus. *Ber. dtsch. bot. Ges.* **33**, 153 (1915). — A. URSPRUNG u. G. BLUM, Zur Kenntnis der Saugkraft III. 4. *Hedera Helix*. Abgeschnittenes Blatt. *Ber. dtsch. bot. Ges.* **37**, 453 (1918). — J. VESQUE, Recherches sur le Mouvement de l'eau dans les vaisseaux. *Ann. sc. nat.* 6. sér. **19**, 159 (1884). — M. WESTERMAIER, *Sitzsber. Berl. Akad. Wiss.* **48**, 1105 (1885).

## Quantenmechanik und Biologie.

Von E. BÜNNING, Straßburg.

Mit den HEISENBERGSCHEN Unbestimmtheitsrelationen ist bekanntlich gezeigt worden, daß es prinzipiell unmöglich ist, Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons gleichzeitig exakt zu messen, da durch den Beobachtungsvorgang selber entweder (bei der Geschwindigkeitsmessung) der Ort oder (bei der Ortsmessung) die Geschwindigkeit zwangsläufig, und zwar unkontrollierbar, geändert wird. Daher ist es prinzipiell unmöglich, atomphysikalische Einzelsehungen (etwa einzelne Elektronensprünge) vorauszuberechnen. — Es sind Gründe für die Ansicht geäußert worden, daß wir dabei nicht mehr von *kausalen* Vorgängen sprechen dürfen, obwohl zum mindesten jene Überlegung gerade die Kausalität *voraussetzt*, indem sie mit einer unvermeidlichen kausalen Wechselwirkung zwischen Objekt und Mittel der Beobachtung rechnet. Wir wollen diese Gründe hier nicht erörtern, sondern von der Feststellung ausgehen, daß atomphysikalische Einzelsehungen jedenfalls als *unberechenbar* gelten müssen. Diese Tatsache gab schon mehrfach, namentlich durch die Veröffentlichungen P. JORDANS, Veranlassung zu biologischen Spekulationen. JORDAN bemüht sich seit 1932, den Biologen zu zeigen, daß sie eine wesentliche Seite des Lebens vernachlässigen, indem sie bei der Beurteilung der biologischen Vorgänge nicht die Gesetze der Quantenmechanik berücksichtigen. Nach seiner Auffassung sind die „eigentlichen Zentren des Lebens... nicht mehr makrophysikalischer Kausalität unterworfen, sondern liegen in der Zone mikrophysikalischer Freiheit“. Zwar sind die uns entgegentretenden biologischen Vorgänge mikroskopisch oder makroskopisch, also jedenfalls „Makrovorgänge“ im physikalischen Sinne, aber sie werden nach JORDANS Ansicht von Prozessen atomarer Größenordnung gelenkt, also von Vorgängen, auf die sich die Kausalität nicht anwenden läßt. Dabei sollen sich die „akausalen“ Schwankungen der Mikrovorgänge infolge der in der Zelle gegebenen Verstärkeranordnung auf die (mikroskopischen oder makroskopischen) Makrovorgänge übertragen. JORDAN spricht daher von einer *Verstärkertheorie* der Organismen. Er will hiermit nicht etwa auf einzelne mögliche Vorgänge hinweisen, sondern „eine der allgemeinsten und fundamentalsten

Eigenschaften aller lebenden Organismen“ kennzeichnen und den Kernpunkt des Lebensproblems treffen: „Leben ist ein Wirken aus der Akausalität der Unterwelt heraus in die kausal gebundene Oberwelt hinein.“ Weiter meint er, „daß mikrophysikalische, nicht mehr kausal gebundene Einzelsehungen das Lebensgeschehen diktatorisch, richtunggebend steuern — diese Erkenntnis rückt uns dem großen Problem der inneren Freiheit des Lebendigen näher: Zum erstenmal in der Geschichte des menschlichen Denkens nimmt dies Problem Umrisse an, die uns naturwissenschaftlich abtastbar zu werden beginnen“ (1941).

Also eine Theorie größter Tragweite, die begeisternd von vielen Philosophen begeistert aufgegriffen worden ist. Die kritischen Entgegnungen (u. a. von M. HARTMANN und von mir selber) scheinen nur die Reste einer überholten Ansicht zu sein, so daß JORDAN jetzt in einem für breitere Kreise geschriebenen Buch glaubt feststellen zu dürfen, die empirische Begründung seiner Verstärkertheorie sei von ähnlich sicherer und endgültiger Art wie die empirische Begründung der Zellenlehre oder wie die der Chromosomentheorie der Vererbung.

Mir scheint aber doch, daß hier noch etliche Zweifel berechtigt sind; und ich glaube, daß JORDAN die Kritik bis jetzt zu sehr übergegangen hat. So möchte ich meine ausführlichen kritischen Beitrachtungen aus dem Jahre 1935 hier ergänzen.

Zunächst müssen wir folgendes feststellen: *Die erste (aber keineswegs schon hinreichende) Voraussetzung dafür, daß wir bei der Analyse eines biologischen Vorganges hoffen dürfen, an ihm sei eine Steuerung von Makrovorgängen durch acausale Mikrovorgänge beteiligt, ist die, daß der Makrovorgang nicht aus den zur Zeit faßbaren Ursachen eindeutig vorausgesagt werden kann.* (Nicht aber genügt es etwa schon, wenn wir den Vorgang zwar voraussagen, aber noch nicht erklären können.) Wenn wir uns in der Physiologie umschauen, so müssen wir bald feststellen, daß diese Voraussetzung höchstens sehr selten verwirklicht ist, so selten, daß z. B. ein so überzeugter Vitalist wie DRIESCH nie mit ihr gerechnet hat. Dabei dürfen wir aber nicht übersehen, daß die Voraussetzung nicht etwa schon dann erfüllt ist, wenn auf zwei

zunächst als gleich angesehene biologische Zustände unter gleichen Außenbedingungen verschiedenartige biologische Vorgänge folgen. Ich erwähne das besonders, weil DONNAN und MEYER diesen Fehler gemacht haben und mit ihm ebenfalls ein — wenn auch anderes — philosophisches System zu stützen versuchen. Sie meinen, man könne das biologische Verhalten nicht so wie das physikalische durch eine Differentialgleichung beschreiben, denn die Zukunft lasse sich bei biologischen Systemen erst unter Hinzunahme der Vergangenheit aus der Gegenwart berechnen. Als Beispiel wird angenommen, zwei in einem Merkmal verschiedene Rassen seien durch Mutation der einen einander völlig gleich geworden. Unter völlig gleichen Bedingungen müßten sie sich nun, wenn sie sich wie physikochemische Systeme verhielten, völlig gleich verhalten. Das sei aber nicht das durchschnittliche Verhalten: „Typisch biologisch verhalten sich unsere Ausgangsrassen, wenn sie trotz augenblicklicher Gleichheit und trotz der fortan gleichbleibenden Verhältnisse dennoch wieder verschieden werden“ (MEYER). Aber gerade an diesem Beispiel läßt sich zeigen, daß die klassische Kausalitätsform nicht aufgegeben, sondern dem Biologen im Gegenteil ein unentbehrliches Arbeitsmittel ist. Er schließt nämlich aus jenem Verhalten, daß beide Rassen zwar nur Gene besitzen, die die Entwicklung in übereinstimmender Weise beeinflussen, daß aber bei der einen Rasse eines der Gene eine andere Labilität hat, die beiden Rassen also eben doch nicht gleich sind. — Gerade diese Arbeitsweise müssen wir auch beachten, wenn wir nach Fällen suchen, in denen die Hoffnung für ein Zutreffen der JORDANSchen These besteht: Es gibt keinen unmittelbaren Zugang unserer Erkenntnis zu den „Eigenschaften“ oder „Kräften“ eines Systems; so wie diese Eigenschaften, können wir auch die Gleichheit oder Ungleichheit nur unter Anwendung der Kausalität aus den Veränderungen erschließen.

Nun behauptet natürlich JORDAN auch nicht, daß es im Organismus überhaupt keine kausale Eindeutigkeit gäbe. Nachdem HARTMANN und ich mehrfach betont haben, daß der Organismus ohne strenge Kausalität nicht zweckmäßig reagieren könne, weil es ja darauf ankommt, mit bestimmten Ursachen auch den Eintritt einer bestimmten Reaktion zu sichern, hebt jetzt auch JORDAN wenigstens den „streng kausalen Verlauf der gesteuerten Reaktionen“ hervor. Wir werden also von vornherein nur dort nach unberechenbaren Schwankungen der Makroreaktionen suchen dürfen, wo diese nicht von anderen Makroreaktionen determiniert, sondern von Mikroreaktionen gesteuert werden.

Wenn wir uns nun nach Steuerungen umsehen, die im Organismus regelmäßig vorkommen, so werden wir in erster Linie an Steuerungen durch Wirkstoffdenken müssen; mit solchen Steuerungen hat der Biologe in allen Gebieten der Physiologie alltäglich zu rechnen, in der Stoffwechsel-, Ent-

wicklungs- und Reizphysiologie. JORDAN zieht solche Wirkstoffsteuerungen auch ausdrücklich in den Kreis seiner Betrachtungen ein. Ich hatte mich schon 1935 mit dieser Frage beschäftigt und errechnet, daß nach den bisher bekannten Daten von den höchst wirksamen Hormonen und Enzymen durchweg einige tausend oder zehntausend Moleküle auf eine Pflanzenzelle entfallen müssen, um einen sichtbaren Effekt zu bedingen. Wenn nun auch JORDAN (1938) trotzdem „den Eindruck gewinnt, daß es Biokatalysatoren gibt, die schon durch  $\approx 50$  Moleküle pro Zelle merkbar wirken“, so muß zunächst festgestellt werden, daß damit nichts ermittelt würde, was den Biologen überraschen könnte. Daß es im Organismus hochgradig wirksame Verstärkeranordnungen gibt, ist schließlich schon lange kein Geheimnis mehr. Aber wir dürfen uns nicht irreführen lassen, indem wir das Vorliegen einer Verstärkeranordnung als Beweis für die JORDANSche Verstärkertheorie ansehen (ich glaube, sagen zu dürfen, daß die JORDANSche Darstellung zu diesem Irrtum führen kann). Vielleicht ist es ratsam, hier ausdrücklich zwischen einer Verstärkeranordnung im alten, dem Biologen geläufigen Sinne und einer quantenphysikalisch-„akausalen“ Verstärkeranordnung zu unterscheiden; nur bei letzterer ist das steuernde System so fein, daß seine (ins Makrophysikalische übertragbaren) Veränderungen prinzipiell nicht vorausberechenbar sind, weil sie einem Problem wie dem der — gemäß der HEISENBERGSchen Unbestimmtheitsrelation unmöglich — gleichzeitigen Orts- und Impulsmessung eines Elektrons gleichwertig sind. Bei der dem Biologen geläufigen Verstärkeranordnung im alten Sinne ist der steuernde Faktor auch überraschend fein im Vergleich zur gesteuerten Reaktion (denken wir etwa daran, daß eine Hefezelle einige  $10^4$ -Moleküle Katalase enthält, aber schon in einer Sekunde einige  $10^7$  Moleküle Zucker vergärt!), aber das steuernde System liegt doch noch weit außerhalb der Größenordnung, für die die Gesetze des Makrogeschehens nicht mehr anwendbar sind.

Wie gering auch die Anzahl der Wirkstoffe innerhalb der Zelle sein mag: bisher haben wir immer noch feststellen können, daß sie nur an Verstärkeranordnungen im alten Sinne beteiligt sind, denn immer wieder hat sich in der Physiologie der Arbeitsgrundsatz bewährt, daß jede Verschiedenheit in der Reaktion entweder auf einer meßbaren Verschiedenheit der inneren, oder auf einer meßbaren Verschiedenheit der äußeren Bedingungen beruht. Nichts anderes als die konsequente Anwendung dieses Arbeitsgrundsatzes ermöglichte uns immer neue Einblicke in die Mannigfaltigkeit der auf einen physiologischen Vorgang einwirkenden Faktoren. Würde der Biologe die JORDANSche Theorie gekannt und anerkannt haben, so hätte er sich vielleicht gesagt: Die von mir beobachteten Verschiedenheiten sind eben nicht Folge feststellbarer Unterschiede in den Bedingungen, hier gibt es für mich nichts Neues

zu entdecken, die Verschiedenheiten sind nur Ausdruck akausaler Schwankungen der steuernden Mikrovorgänge; diese haben sich die „Freiheit“ erlaubt, einmal etwas anderes entstehen zu lassen. So hätte die ganze neuere Physiologie, die es immer wieder mit Steuerungen durch Mikrovorgänge (im alten Sinne) zu tun hat, nicht entstehen können. Der Biologe darf jedoch — wie die Erfahrung lehrt — der Berechtigung seiner alten Methode so sicher sein, daß er jede bei völliger Gleichheit der Außenbedingungen in einem ursprünglich erbgleichen Material auftretende Entwicklungsverschiedenheit als Folge einer Mutation erklären kann.

Hier nach kann also gar keine Rede davon sein, daß das organische Geschehen auch nur die *Hoffnung* oder vielmehr (da die Preisgabe jener Arbeitsgrundsätze ein großer Verlust wäre) die *Befürchtung* erweckt, die biologischen Verstärkeranordnungen seien nicht solche der von jeher anerkannten Art, sondern quantenphysikalisch-akausale Mechanismen. Daher brauchen wir auch hinsichtlich der biologischen Forschung nicht den Pessimismus JORDANS zu teilen. Die Beobachtung der biologischen Vorgänge, auch der von kleinsten Wirkstoffmengen dirigierten, entspricht zum mindesten in der Regel nicht einem Problem wie dem der gleichzeitigen Orts- und Impulsmessung eines Elektrons; wir dürfen also getrost weiter arbeiten, ohne mit JORDAN zu vermuten, wir müßten bei dem Versuch, die physikalisch-chemischen Bedingungen im Organismus hinreichend kennenzulernen, diesen in eine Leiche verwandeln.

Dogmatisch wäre es natürlich, wollten wir behaupten, daß im Organismus überhaupt keine „quantenphysikalisch-akausalen“ Verstärkungen möglich sind. Ein von JORDAN immer wieder vorgetragenes Beispiel ist das einiger spezieller Strahlen- und Gifttötungen: Die Absorption eines einzigen UV-Quants, eine einzige durch Röntgenstrahlen bedingte Ionisierung, oder ein einziges Phenolmolekül, kann zur Tötung einer ganzen Zelle führen. Wir müssen aber prüfen, was diese Beispiele zeigen und was sie nicht zeigen. Zu bedenken ist nämlich, daß die Absorption des Quants bzw. das Stattfinden der Ionisierung in einem entscheidenden „empfindlichen Volumen“ *zwangsläufig* zum Tode führt. Akausal kann es also in allen diesen Fällen nur bleiben, ob die entscheidende Absorption stattfindet. Aber dieses „Ob“ ist gewiß nicht von der Freiheit des Organismus abhängig; in der toten Zelle bleibt es in genau demselben Sinne „zufällig“ wie in der lebenden. Natürlich hat JORDAN Recht, wenn er aus den genannten Versuchen schließt, „daß im Leben der Zelle eine Steuerung besteht, welche die Gesamtreaktionen der Zelle weitgehend abhängig macht vom Arbeiten eines hochempfindlichen Steuerungszentrums“; aber er hat immer noch nicht gezeigt, daß an diesem Steuerungszentrum akausale, nur mit der Freiheit des Organismus

erklärbare Veränderungen ablaufen können. JORDAN beleuchtet ja nur Zufälligkeiten rein *physikalischer* Art, nämlich, genau besehen, nur (unkontrollierbare) Verschiedenheiten der *Außenbedingungen*, denen die einzelne Zelle bzw. ihre Steuerungszentren ausgesetzt sind, und denen zufolge sie selber dann *zwangsläufig* verschiedene reagieren. (Wenn das UV-Quant absorbiert wird, so reagiert die Zelle *zwangsläufig* mit einer ganz bestimmten Veränderung.) Wir sind hiermit also gewiß nicht auf eine irgendwie mit dem Wesentlichen des Lebens verknüpfte Akausalität gestoßen, sondern nur auf eine „Akausalität“ der *Bedingungen*, denen die Zentren ausgesetzt sind.

Man kann jetzt höchstens noch annehmen, daß diese Steuerungszentren auch unabhängig davon, ob sie von einem Quant oder einem Giftmolekül getroffen werden, Veränderungen durchführen können. Und hierin, also in der spontanen Mutation, sehe ich (ebenso wie schon 1935) bisher den einzigen Fall, für den die Annahme berechtigt sein mag, daß die Verstärkung eines „akausalen“ *biologischen* Mikrovorgangs zu einem Makrovorgang vorliegt.

Aber auch dabei müssen wir bedenken, daß dem einzelnen Gen für seine Mutation nicht mehr Freiheit verbleibt als einem einzelnen Radiumatom für seinen Zerfall; — genau so wie sich nämlich eine durchschnittliche Lebensdauer der Radiumatome angeben läßt, können wir auch eine durchschnittliche Mutationshäufigkeit angeben; wie „frei“ die Gene bei der Festlegung dieser Mutationshäufigkeit sind, mögen wir daraus erkennen, daß wir die Häufigkeit durch Änderung der mit den Chromosomen in kausaler Wechselwirkung stehenden Bedingungen willkürlich beeinflussen können. Ist das, was noch übrigbleibt, wenn wir einer Anzahl von Genen eindeutig vorschreiben, so und so oft zu mutieren, die Freiheit, an die JORDAN denkt?

Immerhin wollen wir gern feststellen: Wenn JORDAN lediglich die Vermutung aufgestellt hätte, daß beim Mutationsvorgang und möglicherweise noch bei einigen anderen biologischen Einzeltätigkeiten eine Verstärkung „akausaler“ Mikroprozesse zu Makroprozessen vorliegt, so könnten wir diese Vermutungen wie jede andere biologische Hypothese werten. Sobald er diese Einzelvermutungen aber zur oben gekennzeichneten Verstärkertheorie ausweitet, steht er in entschiedenem Widerspruch zu den biologischen Tatsachen. Wenn schon von einer „wesentlichen“ Seite des Organismus gesprochen werden soll, so müssen wir sie in dem *Nichtzutreffen* der JORDANSchen These sehen; denn nur durch sorgfältige Vermeidung des von JORDAN angenommenen, mit „Akausalität“ verbundenen Feinheitsgrades der steuernden Systeme, kann der Organismus mit Hilfe seiner feinen Steuerungsmechanismen nach feinsten Änderungen der äußeren oder inneren Bedingungen den Eintritt der jeweils zweckmäßigen Reaktion (akausal) sicherstellen.

Noch etwas ist in diesem Zusammenhange nicht unwesentlich. Wenn auch die vorhandenen Steuerungszentren normalerweise nicht einmal die Akausalität zeigen, sondern selbst die feinsten uns bekannten Auslöser, die vermutlich monomolekulare Gene, so eindeutig wirken, daß wir die biologische Variabilität als Wirkung prinzipiell faßbarer genotypischer und umweltmäßiger Unterschiede ansprechen dürfen<sup>1)</sup>, so liegt außerdem in der Kenntnis solcher Zentren überhaupt kein so weitgehender Zugang zum Geheimnis des Lebens, wie es JORDAN meint, wenn er sagt, im Steuerungszentrum sei „das Leben in gesteigerter Form tätig“ (1941). Diese früher verbreitet gewesene Ansicht haben wir in der Biologie unter dem Zwange von Tatsachen zurücktreten lassen, so daß wir heute beispielsweise auch den Ausdruck „organbildender Stoff“ nur mit einem Unbehagen anwenden; wir bezeichnen diese, die Organbildung *auslösenden* Stoffe mit SPEMANN besser als Evokatoren. Wer sich längere Zeit experimentell forschend mit den Lebewesen befaßt hat, wird die Lösung seiner letzten biologischen Fragen nicht aus der Kenntnis von Zentren mit „gesteigertem“ Leben erhoffen, sondern aus dem Studium der Wechselwirkung aller Teile, von denen *jedes für sich gleich wenig lebt*, aber alle zusammen *durch ihre Wechselwirkung das Leben ermöglichen*; wir sollten nicht von lebenden und toten Teilen, „lebenden Molekülen“ und Ähnlichem sprechen, sondern mit dem Physiologen H. J. JORDAN sagen: Das Problem der gesamten Biologie ist die *Organisation*, oder (wie J. S. HALDANE immer wieder betonte) die *Koordination*.

<sup>1)</sup> RAHN hat versucht, die Variabilität der Form mit akausalen Streuungen im Sinne JORDANS in Zusammenhang zu bringen, dabei aber übersehen, daß sich die Unterschiede in Form und Größe der Blätter, auf die er hinweist, immer mehr mildern, wenn auf Gleichheit der Bedingungen geachtet wird. Man braucht nur die beiden Keim- oder Primärblätter bestimmter Pflanzen miteinander zu vergleichen.

Bei der Lektüre der JORDANSchen Schriften wird es klar, daß der tiefere Grund für seine Theorien in seiner positivistischen Philosophie liegt: „Sinnvoll sind solche Aussagen, die sich unmittelbar auf unsere Sinneserlebnisse beziehen; und bekanntlich ist die grundlegende These des Positivismus die, daß mit *diesen* Aussagen überhaupt die *unmittelbar sinnvollen* Aussagen erschöpft sind“ (1934). Andererseits aber hat JORDAN doch Verständnis für die Wahrheiten, die die Nichtpositivisten mit anderen Mitteln suchen. Daher klammert er sich an die Akausalität, und so ist für ihn die Frage, ob sich die Feinheit der biologischen Steuerungen bis zur äußersten physikalischen Möglichkeit steigert, die einzige „Hoffnung... auf eine Überwindung der mechanistisch-materialistischen Theorien der Biologie“ und der einzige Weg zur Begründung der Freiheit des Willens. Mir scheint sein Weg nicht einmal zu diesem Ziel führen zu können; denn mit der Frage nach der Freiheit (so wie wir sie freilich nur als Nichtpositivisten auffassen dürfen) wollen wir ja etwas grundsätzlich anderes erfahren als die Feststellung, daß für das Auftreten bestimmter Willensentschlüsse unter den Menschen prinzipiell nur eine statistische Wahrscheinlichkeit angebbar ist! Wenn aber nicht einmal diese alte Frage befriedigend beantwortet werden kann, ist es doch wohl (sofern man die metaphysische Freiheit im KANTISchen Sinne nicht einfach positivistisch zu einem Scheinproblem erklärt sehen will) vorzuziehen, *der Philosophie nicht jene Beschränkung und der Biologie nicht jenen Zwang aufzuerlegen*.

#### Literatur.

- E. BÜNNING, Erkenntnis 5, 337 (1935) — Fortschr. Bot. 8, 154 (1939). — DONNAN, F. G. Acta Biotheoretica 2, 1 (1936). — M. HARTMANN, Philosophie der Naturwissenschaften. Berlin 1937 — Naturwissenschaft und Religion. Jena 1940. — P. JORDAN, Naturwiss. 20, 815 (1932); 22, 485 (1934); 26, 537 (1938) — Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. Braunschweig 1941. — A. MEYER, Acta Biotheoretica 1, 203 (1935). — O. RAHN, Biochem. Z. 284, 40 (1936).

## Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

### Nachweis der Druckspannungsschicht von Ritzbahnen.

Die „Ritzbahnen“ *bruch- und splitterfreier Ritzvorgänge* sind durch eine Reihe von bemerkenswerten Eigenschaften gekennzeichnet<sup>1)</sup>. Dazu gehört auch das spontane Auftreten „laufender Risse“ in der Mindesttiefe von einigen Mikron unterhalb der Ritzbahnen auf Glasoberflächen<sup>2)</sup>. Durch diese *nachträglichen Bruchvorgänge* wird im Glasinneren das Vorhandensein von *Zugspannungen* sichtbar, welche quer zur Ritzbahn und parallel zur Oberfläche gerichtet sind. Die Zugspannungen haben ihre Größtwerte knapp unterhalb der Ritzbahn und zeigen mit wachsender Tiefe ein allmähliches Abklingen, ebenso seitlich der Ritzbahn<sup>3)</sup>. Nach der Theorie des Ritzvorganges wird diese innere Zugspannungsverteilung durch eine *mit der Ritzbahn unmittelbar verknüpfte Druckspannungsschicht* hervorgerufen, welche auf das örtliche Schmelzen und Wiedererstarren des bruchfrei geätzten Stoffes zurückzuführen ist<sup>4)</sup>. Obwohl die Entstehung „laufender Risse“ unterhalb einer Ritzbahn auf ihr selbst

keinerlei wahrnehmbare Veränderungen bewirkt<sup>2, 3)</sup>, so bleibt es unbefriedigend, daß bisher nur die *Zugspannungsschicht* nachgewiesen erscheint, und auch diese nur für Ritzbahnen, die zur Bildung laufender Risse befähigt waren. Daher wurden Versuche angestellt, um das Bestehen der erwarteten *Druckspannungsschicht* für *beliebige* Ritzbahnen unmittelbar nachzuprüfen.

Hierzu diente das *Verhalten „laufender Risse“ gegenüber quergestellten Ritzbahnen*. Die Ritzbahnen wurden auf feuergeschwärzten Objekträger-Glasstreifen mit abgenutzten Grammophon-Stahlnadeln hergestellt, da mit 600 g Ritzlast gezogene Bahnen dieser Art in genügender Zahl „laufende Risse“ ergeben hatten<sup>3)</sup>. Es wurden also rechtwinklige und

<sup>1)</sup> W. KLEMM u. A. SMEKAL, Naturwiss. 29, 688 (1941). — W. LOOS, W. KLEMM u. A. SMEKAL, ebenda 29, 769 (1941).

<sup>2)</sup> W. KLEMM, Naturwiss. 30, 312 (1942).

<sup>3)</sup> G. STUTZER, Naturwiss. 31, 147 (1943).

<sup>4)</sup> A. SMEKAL, Naturwiss. 30, 224 (1942).