

## Über die Radioaktivität der Gesteine.

HUGO MÜLLER-Vorlesung, gehalten vor der Chemical Society am 24. Februar 1924.

VON JOHN JOLY, D. Sc., F. R. S.<sup>1)</sup>

Die Radioaktivität der Gesteine ist ein Thema, das dem Geologen sehr wichtige Aufschlüsse über die Veränderungen im Antlitz der Erde liefert. Noch grundlegendere Ergebnisse aber bietet es dem Chemiker, da es etwas Licht über die Geschichte der chemischen Elemente während geologischer Zeiträume zu verbreiten scheint, worüber man sich heutzutage auf keinem anderen Wege Kenntnis verschaffen kann.

Die Tatsache, daß die radioaktiven Elemente der Uranfamilie weit, ja man kann sagen überall in den Gesteinen verbreitet sind, ist zuerst durch den jetzigen Lord RAYLEIGH<sup>2)</sup> festgestellt worden, der im Jahre 1906 eine ausgedehnte Untersuchung über die verschiedensten Gesteinsarten veröffentlicht hat. Später fand man, daß Elemente der Thoriumfamilie ebensoweit verbreitet sind, und daß außerdem anscheinend eine gut gesicherte Beziehung zwischen den Mengen dieser Elemente in Eruptivgesteinen besteht, wenn man den Uran- und Thoriumgehalt von Gesteinen, die derselben chemischen Klasse angehören, vergleicht. Hierauf werde ich gleich noch zurückkommen.

In seiner ersten Veröffentlichung kam Lord RAYLEIGH zu dem Schluß, daß die sauren Gesteine mehr Radium enthalten als die basischen, was durch spätere Arbeiten bestätigt worden ist. Er fand, daß der mittlere Gehalt der Eruptivgesteine erheblich höher als der der Sedimentgesteine ist — ein Ergebnis, das ebenfalls bestätigt werden konnte und die hohe Radioaktivität der langsamer angehäuften ozeanischen Ablagerungen — des roten Tons und des Radiolarien-Schlichs — erklärt. Ähnliche Resultate haben sich für den Thoriumgehalt der Gesteine ergeben.

Ich habe schon auf das ziemlich konstante Verhältnis hingewiesen, das zwischen den Uran- und Thoriummengen in Eruptivgesteinen besteht. Schätzen wir das Uran nach dem Radium, unter Anwendung des Gleichgewichtsfaktors  $3,4 \cdot 10^{-7}$ , so finden wir in Basalt etwa  $0,44 \cdot 10^{-5}$  g Uran und  $0,9 \cdot 10^{-5}$  g Thorium. In mittleren Gesteinen ist das entsprechende Verhältnis  $0,76 : 1,64$ . In sauren Gesteinen (Granit) ist das Verhältnis  $0,8 : 2,0$ ; für saure Intrusionen  $1,1 : 2,3$ . Der Mit-

telwert für saure Gesteine beträgt  $0,9 : 2,0$ ; kurz, wir finden ein nur wenig von  $1 : 2$  abweichendes Verhältnis. In einzelnen Gesteinsproben kann man dieses Verhältnis häufig antreffen, es finden sich aber auch Ausnahmen. Wie zu erwarten, tritt es im Durchschnitt am klarsten zutage. Worauf mag dieses ziemlich konstante Verhältnis zurückzuführen sein?

Die Zerfallsgeschwindigkeit des Urans ist etwa dreimal so groß wie die des Thoriums. Offenbar muß sich also der numerische Wert des erwähnten Verhältnisses während geologischer Zeiträume geändert haben und sich auch jetzt noch ändern; Uran wird lange vor Thorium bis auf einen unmerklichen Betrag verschwunden sein. Die Tatsache aber, daß sich das gleiche Verhältnis anscheinend in allen chemischen Gesteinsklassen wiederfindet, wenn auch die wirklich vorhandenen Mengen stark variieren können, weist unbedingt auf irgendeine zugrunde liegende Bedingung hin.

Wir können uns dieses beobachtete konstante Verhältnis erklären, wenn wir annehmen, daß alle Gesteinsarten aus einem Welt-Magma durch bestimmte Vorgänge der Differenzierung hervorgegangen sind, wobei keine Trennung der beiden radioaktiven Ursbstanzten, Uran und Thorium, stattgefunden hat. Denn wenn z. B. Granit eine bestimmte Menge der beiden radioaktiven Elemente ohne Änderung des anfänglichen Verhältnisses aus dem Ur-Magma aufnimmt, und Diorit und Syenit wieder eine andere Menge ebenfalls ohne Änderung des ursprünglichen Verhältnisses, so wird in späteren Zeiten das Verhältnis von Uran zu Thorium stets überall gleich bleiben, da es sowohl in Granit, Diorit und Syenit als auch im Ur-Magma die gleichen Umwandlungen erleidet.

Dies führt uns natürlich auf die interessante Schlußfolgerung Lord RAYLEIGH'S, daß nämlich das zuerst in Gesteinen entstandene Silikat — Zirkon — ganz besonders reich an Radium ist. Mir scheint, daß wir nur wenig über die Entstehung der Mineralien in Gesteinen wissen, daher bietet sich uns hier eine verführerische Gelegenheit für spekulative Betrachtungen. Ich will versuchen, mich auf die Erwähnung einiger bestimmter Möglichkeiten zu beschränken. Zirkonoxyd ist isomorph mit dem Uran- und dem Thoriumoxyd. Es ist anzunehmen, daß dies zum Teil die Menge der von Zirkon aus dem Magma entnommenen radioaktiven Elemente erklärt. Der so entstehende radioaktive Mittelpunkt wird Zentrum eines winzigen Bereichs

<sup>1)</sup> Die Schriftleitung verdankt die Übertragung ins Deutsche Dr. ELLEN SCHÖN, wissenschaftl. Mitarbeiter, der Deutsch. Chem. Gesellschaft, Berlin.

<sup>2)</sup> Die meisten Schriften sind noch unter dem Namen R. I. STRUTT veröffentlicht worden. (Anmerkung d. Übers.)

sehr starker Ionisation. Wir nehmen an, daß diese Bedingungen günstig für das krystalline Wachstum der umliegenden Moleküle sind. Die radioaktiven Kerne sind klein und ihr Wirkungskreis beschränkt, aber das umgebende Chaos befindet sich im metastabilen Gleichgewicht, und die Zeit ist unbegrenzt. SODDY sagt über die chemischen Wirkungen der Radioaktivität folgendes: „Die große Reaktionsfähigkeit sonst träger Substanzen in Gegenwart radioaktiver Stoffe darf bei der Deutung ihrer Wirkungen nie außer acht gelassen werden.“ Tatsächlich haben einige Forscher angenommen, daß unter der Einwirkung der Strahlen zuerst Dissoziation der Molekülkomplexe und zeitweilige Bildung freier Atome stattfindet, wodurch die Substanz eine hohe Reaktionsfähigkeit, wie in statu nascendi, erlangt. Man könnte viele experimentelle Belege für diese Behauptung beibringen. In ähnlicher Weise werden die Zirkon umgebenden Glimmer und Hornblendens entstanden sein.

Diese Konzentrierung radioaktiver Elemente ist die Ursache der radioaktiven Höfe, die sich in bestimmten gesteinsbildenden Mineralien früher Erstarrungsperioden finden, vor allem in braunem Glimmer. Diese schöne Offenbarung der Radioaktivität in den Gesteinen gibt Anlaß zu vielen Fragen, die wir passend hier erörtern können. Es ist bemerkenswert, daß frühere Forscher diese winzigen Bildungen für organischen Ursprungs hielten. Der einzige Grund für diese Ansicht scheint ihr Verhalten beim Erhitzen des einschließenden Minerals gewesen zu sein, wobei der Hof verschwand oder jede klare Begrenzung verlor.

Weit hergeholt mag eine solche Erklärung scheinen, aber wir dürfen nicht vergessen, daß die wahre Entstehungsgeschichte dieser Bildungen zu jener Zeit vollständig unentzifferbar war. Es bedurfte erst einer Generation wissenschaftlicher Entdeckung und der glänzenden Fortschritte, welche die Radioaktivität, die Umwandlung der Atome und die Phänomene der materiellen Strahlungen hervorbrachten, bevor die wahre Erklärung möglich war. Vor der Zeit dieser Entdeckungen vermutete SOLLAS, daß sie auf irgendeine Weise durch die Gegenwart seltener Elemente im kernbildenden Zirkon, das sich fast immer in den Höfen findet, hervorgerufen wurden. Es war damals unmöglich der Wahrheit irgendwie näherzukommen. Die große Ähnlichkeit, die diese Bildungen in Ausdehnung und Struktur zeigen, scheint nicht beachtet worden zu sein. Vielleicht war es besser so, denn zu jener Zeit hätte es das Geheimnis nur noch undurchdringlicher machen können.

Seit der Entdeckung der Radioaktivität ist die Erklärung einfach. Auf diesem neuen Gebiet, welches gleichzeitig Radioaktivität, Chemie, Petrographie und Geologie berührt, haben sich viele sonderbare Tatsachen ergeben. Erstens können wir durch direkte Beobachtung die Gegenwart radioaktiver Elemente in den Gesteinen feststellen. Und zweitens, was den Hof anbelangt, sagt uns

eine einzige Messung seines Radius sofort, ob er durch Uran oder Thorium entstanden ist. Außerdem gibt es einige Höfe, die auf seltsame Art durch den Durchgang gasförmiger Emanation der Uranfamilie hervorgebracht sind, die aus dem Radium, wo sie entstanden, fortgewandert und in bestimmten Kernen eingeschlossen worden ist. Diese sind dann Zentren für die Entstehung von Höfen geworden, die charakteristische, auf fremden Ursprung hinweisende Dimensionen zeigen. Dies sind die einzigen drei Arten von Höfen, die mit den bekannten Quellen der Radioaktivität vereinbar sind.

Es ist nötig, daß wir uns die Tatsachen ins Gedächtnis zurückrufen, auf die sich unsere Kenntnis der Höfe gründet. Die Grundannahme ist, daß der  $\alpha$ -Strahl in allen Fällen zur Erzeugung des Hofes ausreicht. Der atomistische „Zusammenbruch“ von Uran zu Blei zum Beispiel durchläuft 15 Stufen. Davon sind 8 mit der Abgabe eines Heliumatoms in Form eines doppelt positiv geladenen  $\alpha$ -Strahls verbunden. Die Reichweite dieser Strahlen in Luft schwankt zwischen 2,7 cm (im Fall eines Strahls aus  $U_1$ ) und 6,97 cm (im Fall von Ra-C')<sup>1)</sup>. Wenn der Atomzerfall innerhalb eines Glimmerblattes stattfindet, so werden die Reichweiten auf etwa  $\frac{1}{2000}$  herabgesetzt.

Wir wissen einiges darüber, was längs der Strahlenbahn in Gasen vor sich geht. Die Gasteilchen werden ionisiert; die Ionisationskurve ist von BRAGG aufgetragen worden. Er fand, daß die Kurven für  $\alpha$ -Strahlen langer und kurzer Reichweite sehr ähnlich sind und die Ionisation stark zunimmt, kurz bevor der Strahl so viel an kinetischer Energie einbüßt, daß er seine Wirksamkeit verliert. Die Reichweite des Strahls ist bis zu dem Punkt gemessen worden, wo er tatsächlich zur Ruhe kommt.

Wir nehmen jetzt an, daß die Ionisation in braunem Glimmer mit bestimmten chemischen Umwandlungen verbunden ist — z. B. das vorhandene Eisen betreffend —, so daß der Glimmer dunkler wird. Dann vertieft sich diese Schwärzung längs der Strahlenbahn und ist gerade kurz vor dem Ende seines Durchgangs am stärksten. Wenn Uran in einem winzigen Teilchen eingeschlossen ist — meist einem Zirkon-Krystall —, werden alle 8 Strahlen innerhalb eines bestimmten kugelförmigen Raumes auf den umgebenden Glimmer einwirken; der Mittelpunkt ist durch den Zirkon-Krystall gegeben und die äußersten Grenzen durch die Bahn des von Ra-C' abgegebenen Heliumatoms, das von allen Strahlen am durchdringendsten ist. Der Radius des Uranhofes wird demnach ungefähr  $\frac{1}{2000}$  von 6,97 cm oder 0,035 mm betragen. Im Fall eines Emanationshofes sind die äußeren Ausmaße dieselben, denn der durchdringende Strahl von Ra-C' bestimmt die Grenze, aber die Wirkungen der 4 Strahlen der Uranfamilie von geringster Durchdringungsfähigkeit fehlen. Wäre Thorium

<sup>1)</sup> Im Original als RaC<sub>1</sub> bezeichnet; in der deutschen Literatur hat sich dafür RaC' eingebürgert. (Anm. d. Übers.)

im Kern, so würden 7 Strahlen auf den Glimmer einwirken, und die äußeren Ausmaße durch die Reichweite von Th-C' bestimmt sein, die in der Luft 8,62 cm und im Biotit 0,041 mm beträgt. Uran- und Thoriumhöfe sind also demnach leicht zu unterscheiden.

Um die innere Struktur der Höfe zu bestimmen, tragen wir die Ionisationskurven der 8 Strahlen der Uranfamilie oder der 7 Strahlen der Thoriumfamilie oder der 4 Strahlen, die den Emanationshof hervorbringen, auf und addieren die Ordinaten in genügend nahem Abstand (vgl. Fig. 1-3).

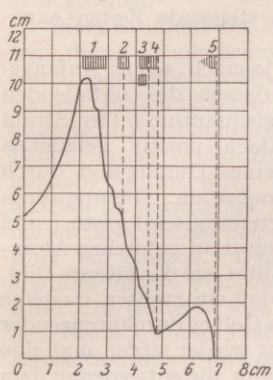


Fig. 1. Ionisationskurve für Uran-Höfe.

Das gibt uns dann die vollständigen Ionisationskurven, die große Ähnlichkeit mit dem tatsächlichen Hof aufweisen. Die Maxima der Kurven entsprechen den stark geschwärzten Ringen im Glimmer, die den Kern umgeben; die Minima der Integralkurve zeichnen sich im Glimmer als kreisförmige Flächen von sehr geringer Schwärzung ab.

Aber hier ergibt sich eine neue Schwierigkeit. Bei der Art der Darstellung dieser Kurven ist vor-

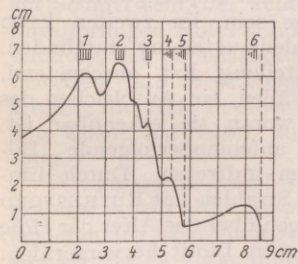


Fig. 2. Ionisationskurve für Thorium-Höfe.

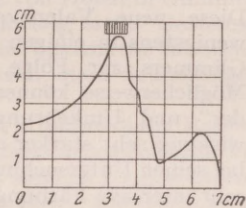


Fig. 3. Ionisationskurve für Emanations-Höfe.

ausgesetzt, daß die Strahlen den Glimmer so beeinflussen, als ob sie parallel hindurchgingen. Tatsächlich divergieren sie aber, und wenn wir die dieser Divergenz Rechnung tragende Integralkurve auftragen, ergibt sich eine keineswegs mit dem Hof übereinstimmende Kurve.

Um zu erklären, warum die Wirkungen der Divergenz im Hof nicht sichtbar sind, nehmen wir an, daß eine Art photographischer Umkehrung oder Solarisation auftritt, wenn ein Strahl die bereits von einem vorhergehenden zurückgelegte Bahn kreuzt. Dadurch wird die Dichte der Strahlen im inneren Teil des Hofes stärker herabgesetzt als im äußeren, woraus folgt, daß der Schlußeffekt ziemlich der gleiche sein muß, als wenn die Strahlen parallel liefen. Durch diese Annahme wird auch das frühe Sichtbarwerden des äußersten Ringes erklärt, denn dieser wird am wenigsten vom Umkehr-effekt betroffen.

Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß die Umkehrung bei der Entstehung des Hofes, wie wir ihn jetzt sehen, eine wichtige Rolle gespielt hat. Was ich weiterhin bezüglich der Höfe zu sagen habe, wird dies noch deutlicher machen.

Wir sehen also, daß wir Aussehen und Dimensionen der inneren Teile eines Hofes voraussagen können, je nachdem er durch Uran, Thorium oder Radium-Emanation hervorgebracht ist. Finden wir Höfe, die nicht mit diesen Ausmaßen übereinstimmen, so müssen wir daraus schließen, daß wir es mit einem neuen radioaktiven Element zu tun haben, vorausgesetzt, daß sich kein Mittel findet, eine Übereinstimmung herbeizuführen. Hier bietet sich uns eine gute Gelegenheit, die Radioaktivität der Gesteine den Fortschritten der chemischen Wissenschaft nutzbar zu machen.

Bei der Betrachtung der Integralkurven von Uran-, Thorium- und Emanationshöfen bemerken wir bei Uran und Emanation das Auftreten eines einzelnen deutlichen Randes, der im Hof als innerer Ring von kleinem Radius erscheinen muß. Bei Thorium treten zwei solcher Ränder dicht nebeneinander auf. Diese frühen Ringe sind die ersten Anzeichen, die wir finden. Ihre Messung sagt uns, mit welchem Element wir es zu tun haben, trotzdem der Hof sich noch im ersten Stadium der Entwicklung befindet. Derartige gut entwickelte und leicht meßbare Ringe findet man um die winzigsten Kerne herum.

Wir besitzen in den Höfen ein Mittel zur Erkennung radioaktiver Stoffe in Gesteinen, das an Empfindlichkeit jede andere bekannte Methode weit übertrifft. Das Elektroskop ist viel tausendmal empfindlicher als die gravimetrischen chemischen Nachweismethoden. Ein Billionstel Gramm Radium pro Gramm Gestein kann durch das Elektroskop nachgewiesen werden. Aber wir können einen Zirkonkern von fünf Tausendstel Millimeter Durchmesser vor uns haben. Angenommen, er enthält fünfundzwanzigmal so viel Radium wie die reichsten von Lord RAYLEIGH untersuchten Zirkone, so beträgt der Radiumgehalt nur  $3 \times 10^{-18}$  g oder den millionsten Teil von einem Billionstel Gramm. Solch ein Kern kann einen vollkommen meßbaren und erkennbaren Ring zeigen.

Der Grund für diese außerordentliche Empfindlichkeit ist klar. Der Hof ist immer alt — oft sogar sehr alt. Tatsächlich findet man ihn nicht in jüngeren Gesteinen. Und während all der aufeinanderfolgenden geologischen Perioden hat sich die Ionisationswirkung langsam addiert. Wir bemerken den endgültigen Effekt einer solchen schwachen Strahlung, ebenso wie wir auf einer photographischen Platte nach langer Expositionszeit Sterne nachweisen können, die dem bloßen Auge ewig unsichtbar sind.

Auch aus diesem Grunde sind die Höfe wichtig für die chemische Wissenschaft. Sie ermöglichen uns den fast unwahrscheinlichen Rückblick in die vergangene Geschichte der chemischen Elemente, und mit ihrer Hilfe sind wir imstande, Fragen

zu beantworten, denen wir auf keinem andern Weg näherkommen können. Wir können etwas darüber aussagen, ob die bekannten radioaktiven Elemente früher in der Art ihres Zerfalls Unterschiede zeigten, oder ob in entlegener Zeit noch andere radioaktive Elemente existiert haben. Die wichtige Frage, ob die Radioaktivität während geologischer Zeiträume abgenommen hat, kann durch die Höfe beantwortet werden. Denn der Hof ist tatsächlich eine Art Hieroglyphe, eine Schrift in den Felsen, welche sich auf Grund heutiger Erfahrungen im Gebiet der Radioaktivität deuten läßt. Alles dieses ist gleich wichtig auch für den Geologen. Denn bezüglich der Veränderungen im Antlitz der Erde ist es wesentlich für ihn zu wissen, ob die bekannten radioaktiven Elemente früher ebensoviel thermische Energie entwickelt haben wie heute, oder ob in der Vergangenheit merklich mehr oder merklich weniger Energie aus dieser Quelle auf die Erde eingewirkt hat.

Ich werde gleich einige Worte darüber sagen, wie diese Fragen durch unsre Kenntnis von den Höfen beantwortet worden sind. Vorher aber muß ich, um verständlich zu sein, noch einmal auf das Thema der Umkehrung zurückgreifen.

Daß es sich bei der Umkehrung der Höfe um eine wirkliche wohl bestimmte Erscheinung handelt, scheint sichergestellt. Wir können allerdings nicht mit Bestimmtheit behaupten, daß sie der photographischen Umkehrung vollkommen gleichzusetzen ist, aber sie äußert sich in sehr ähnlicher Weise, und es ist sehr wahrscheinlich, daß die beiden Erscheinungen gleichen Charakters sind.

Die Theorie der photographischen Umkehrung kann in einigen Worten mitgeteilt werden. Die Wirkung des Lichts auf die photographische Platte ist photoelektrischer Natur. Aus dem Silberhalogenid werden Elektronen freigemacht, die je ein gewisses Energiequantum besitzen, das aus der absorbierten Strahlungsenergie stammt. Von dem belichteten Punkt, der positiv geladen bleibt, dringen diese Elektronen in einem bestimmten Abstand vor und erzeugen rundherum ein negatives elektrostatisches Feld. Dieses ionisierte System stellt das latente Bild dar. Es kann monate- oder jahrelang bestehen. Bei Anwendung eines Entwicklers wird Energie, die potentiell im latenten Bild vorhanden ist, ausgegeben, indem sie die chemische Wechselwirkung zwischen ionisiertem Halogensilber und Entwickler begünstigt. Bei diesem Prozeß wird Silber freigemacht und an den ionisierten Stellen aufgespeichert, so daß das sichtbare Bild entsteht. Das ist der typische Verlauf bei normaler Belichtung.

Jedoch angenommen, wir verlängern die Expositionszeit oder benutzen eine sehr starke Lichtquelle, so wird das elektrostatische Feld um den belichteten Punkt stärker und stärker, bis endlich die Isolation zusammenbricht. Es findet dann Wiedervereinigung von + und - Ionen statt, und der ursprüngliche Zustand der Platte wird

wiederhergestellt. In diesem Stadium liefert die Entwicklung kein sichtbares Bild. Das Bild ist tatsächlich umgekehrt worden, und das frühere latente Bild verschwunden. Dies ist die erste Umkehrung. Setzt man die Belichtung über den Umkehrungspunkt hinaus fort, so wiederholt sich die erste Erscheinung, und es entsteht ein neues latentes Bild gleich dem ersten. Und so wiederholen sich die Vorgänge auf der Platte bei fortlaufender Exposition. Die aufeinanderfolgenden Umkehrungen können dadurch sichtbar gemacht werden, daß man aufeinanderfolgende Flächen der photographischen Platte durch steigende Zeiten exponiert.

Der  $\alpha$ -Strahl besitzt je nach seiner Anfangsgeschwindigkeit beim Verlassen des zerfallenden Atoms ein gewisses Energiequantum. Der Strahl besteht aus einem zweifach positiv geladenen Heliumatom. Während seines Durchgangs durch den Glimmer bewirkt er Ionisation. Die ursprüngliche chemische Valenzverteilung wird gestört und unter dem Einfluß der Ionisation entstehen Atomsysteme von gleicher Stabilität wie das latente Bild. Aber es ist verständlich, daß ein zweiter, dasselbe oder ein nah angrenzendes Gebiet durchkreuzender Strahl dieses Gleichgewicht wieder stören und eine Umkehrung hervorrufen kann, die entweder zu dem ursprünglichen oder zu irgendeinem neuen Gleichgewichtszustand der Atome führt. Im ersten Fall würde Wiederherstellung des ursprünglichen Glimmerzustandes die Folge sein, im zweiten kann eine neue chemische Valenzverteilung stattfinden. Diese neue Valenzverteilung hat anscheinend, wenigstens in einigen Fällen, ein Ausbleichen des Glimmers zur Folge, woran sie erkennbar ist. Möglicherweise können aufeinanderfolgende „Bilder“ und Umkehrungen auftreten. Durch Einwirkung sehr starker  $\alpha$ -Strahlen hat RUTHERFORD bei seinen Untersuchungen über das Alter der Höfe sehr intensive Färbungen im Biotit hervorgerufen. Bei fortgesetzter Einwirkung so starker  $\alpha$ -Strahlen über längere Zeiträume mußte es möglich sein, etwas Bestimmtes darüber zu erfahren, was tatsächlich vor sich geht.

In den ältesten Gesteinen finden wir sicherlich übergenug Belege für das Ausbleichen um den radioaktiven Kern. Wenn diese Teilchen zufällig genügend isoliert sind, so bekommen wir einen Hof, dessen kreisförmige Streifen zum Teil nicht als dunkle, sondern als farblose Flächen erscheinen. Wenn diese Teilchen in gerader Linie und nah genug beieinander angeordnet sind, so bekommen wir einen ausgebleichten Streifen, in dessen Achse die Teilchen verstreut sind. Außerhalb des gebleichten Streifens äußert sich die Wirkung normaler Belichtung in der Schwärzung des Glimmers. Mitunter finden wir einen Hof, der sehr schöne Umkehrung oder Ausbleichung zeigt, wo wir normalerweise aufeinanderfolgende dunkle Ringe erwarten sollten. Ich zeige ihnen hier, in den richtigen Maßverhältnissen, die Zeichnung eines umgekehrten Uranhofes aus archaischem Glimmer von

Ytterby, daneben einen Uranhof, wie man ihn im Biotit des späten Silurs oder im Granit des frühen Devons aus Co. Carlow findet. Der erstere zeigt farblose Ringe, wo der letztere geschwärzte aufweist. Es besteht ein ungeheurer Unterschied im Alter dieser 2 Höfe. Solche teilweise ausgebleichten Höfe sind in archaischem Glimmer häufig, während ich in silurischem nur ein einzelnes schlecht ausgebildetes Exemplar gefunden habe. In Graniten aus dem Carbon oder jüngeren Kainozoikum habe ich nie einen umgekehrten Hof gesehen.

Beim Studium der Höfe müssen wir außer diesen durch Umkehrungen hervorgebrachten Umwandlungen noch andere Bedingungen in Betracht ziehen. In den ältesten Gesteinen finden sich Seite an Seite im Werden begriffene und „überexponierte“ Höfe; erstere in Form eines dünnen Ringes von kleinem Radius einen winzigen Kern umgebend, letztere in Form einer Scheibe von bisweilen fast undurchdringlicher Schwärze. Weshalb? Die Antwort ist einfach. Das erreichte Entwicklungsstadium hängt von zwei Bedingungen ab: dem Alter des Gesteins und dem radioaktiven Gehalt des Kerns. Diese Bedingungen entsprechen der Expositionsdauer und der Lichtstärke bei der Photographie. Außerdem muß noch eine andere offenkundige Tatsache in Betracht gezogen werden. Der Hof, der sich uns im Glimmerblatt zeigt, kann ein Schnitt sein, der außerhalb des Zentrums des kugelförmigen Hofes geführt ist. Ich will hier einschalten, daß Serienschritte von Höfen in Glimmer beweisen, daß diese kugelförmig sind. Gesteinschliffe, die Höfe in einer die Spaltfläche kreuzenden Ebene aufweisen, stützen diese Schlußfolgerung.

Wie gesagt, müssen beim Studium dieser Radiogramme in sehr alten Gesteinen die das Ausbleichen begleitenden Erscheinungen stets im Auge behalten werden, da es vorkommen kann, daß bestimmte äußere oder innere Strukturen dadurch verwischt werden. Um schließen zu können, daß ein Hof nicht mit einer der bekannten Arten in Übereinstimmung zu bringen ist, sind stärkere Beweise erforderlich als die äußeren Ausmaße einiger weniger Exemplare. (Fig. 4—6.)

In Glimmern von Ytterby aus dem mittleren Archaikum (pre-Huronian) habe ich Höfe gefunden, die nicht mit den aus bekannten radioaktiven Elementen herrührenden Höfen in Übereinstimmung zu bringen sind. Ich habe sie X-Höfe genannt. Anscheinend existieren zwei verschiedene Arten, die ich als  $X_1$ - und  $X_2$ -Höfe unterscheiden will. Sie sind ziemlich zahlreich. Bisweilen sind sie sehr schwach und ausgewaschen, obwohl sie kein Anzeichen für das Ausbleichen zeigen. Möglicherweise ist dies auf eine Art von Überbelichtung zurückzuführen, genau so wie eine überexponierte Platte zu kraftlos ist, oder vielleicht auch auf die starken metamorphischen Einflüsse, die dieser Glimmer im allgemeinen erfahren hat.

An gewissen Stellen können diese abgeschwächten Höfe so zusammengedrängt sein, daß sie sich

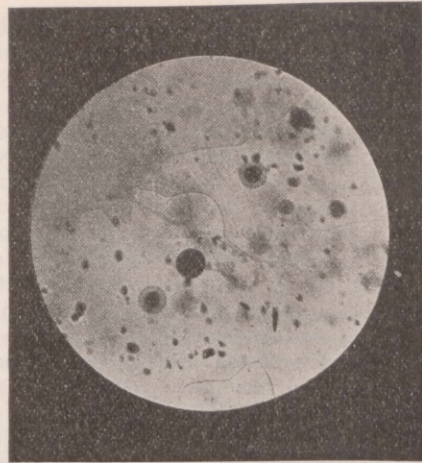


Fig. 4. Uran-Höfe in verschiedenen Entwicklungsstadien.  $\times 76$ . Granit aus Leinster (Devon).

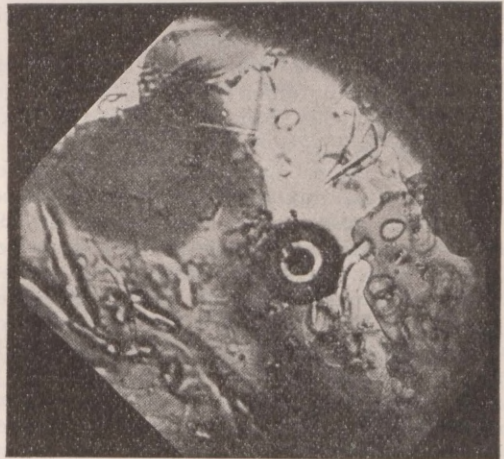


Fig. 5. X-Hof.  $\times 256$ . Radius = 0,0294 mm. Glimmer aus Ytterby (Archaikum).

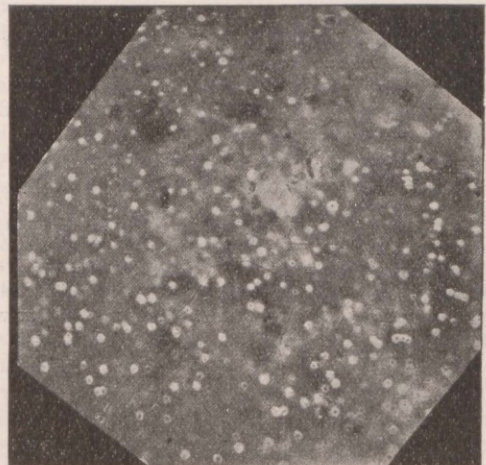


Fig. 6. „Hibernium“-Höfe.  $\times 106,4$ . Radius = 0,0052 und = 0,0086 mm. Glimmer aus Ytterby (Archaikum).

gegenseitig überdecken. Sie zeigen sowohl in den äußeren als auch in den inneren Ausmaßen gewisse Verschiedenheiten. Das kann aber vielleicht nur durch verschiedene Stadien der Entwicklung bedingt sein. Im allgemeinen bestehen sie aus einer im Mittelpunkt gelegenen schwarzen Scheibe, die von zwei oder drei weißen Streifen umgeben ist, von denen der innerste umgekehrt sein kann. Das Photographieren derartiger Bildungen ist so unbefriedigend, daß ich Zeichnungen unter Berücksichtigung der richtigen Größenverhältnisse zeigen will. Die Höfe mit ähnlichster Struktur, die ich kenne, sind Thoriumhöfe. Ich stelle einem  $X_1$ -Hof einen vollständig entwickelten Thorium-Hof gegenüber und zeige gleichzeitig eine kräftige Photographie eines X-Hofes. Ich halte es nicht für möglich, die X-Höfe dem Thorium zuzuschreiben. Überdies sind die in diesem Glimmer auftretenden Thoriumhöfe immer leicht zu identifizieren.

Hier haben wir also ein Beispiel dafür, von wie großem Nutzen uns diese Radiogramme sein können. Wenn meine Schlußfolgerungen richtig sind, so haben wir hier den Beleg entweder für ein unbekanntes durch radioaktiven Zerfall von der Erde verschwundenes Element oder für ein noch unentdecktes radioaktives Element.

In diesem selben Glimmer von Ytterby finden sich — wenn auch außerordentlich selten — bestimmte Höfe von winzigen Dimensionen, die alle vollständig umgekehrt und ausgebleicht sind. Ich habe sie „hibernium“-Höfe genannt. Ich glaube, daß eine Gedankenassoziation mich auf diesen Namen gebracht hat, da das Originalhandstück des diese Höfe enthaltenden Glimmers unglücklicherweise während der dramatischen Vorgänge in Dublin Ostern 1916, als mein Institut belagert wurde, abhanden gekommen ist. Es existieren noch einige für das Mikroskop hergerichtete Spaltstücke. In diesen mikroskopischen Präparaten sind Hunderte von winzigen hofähnlichen Gebilden erhalten. Ihr ungewöhnliches Aussehen offenbart sich am besten auf einer Photographie. Die meisten zeigen übereinstimmende Maße, der Radius beträgt 0,0052 mm. Es scheinen auch größere vorhanden zu sein, aber sehr viel weniger zahlreich. Diese haben einen Radius von 0,0086 mm. Der früheste innere Ring eines Thoriumhofes beträgt 0,011 und der eines Uranhofes 0,014. Angenommen, der Umrechnungsfaktor für diesen Glimmer ist schätzungsweise 2000, so würde die Reichweite der die kleineren hibernium-Höfe hervorbringenden Strahlen in Luft wenig mehr als 1 cm betragen. Jedes dieser winzigen Hofgebilde besitzt einen genau zentrierten Kern. Wenn zwei solcher Kerne genügend nah benachbart sind, so hat der entstehende Hof die Form zweier sich schneidender Kugeln. Drei nah benachbarte Kerne rufen einen birnenförmigen Hof hervor. Es scheint so gut wie sicher, daß ihre Entwicklung in jedem Fall durch den Kern bedingt ist. Da das Ausbleichen kein Einwand gegen den radioaktiven Ur-

sprung ist, sondern im Gegenteil dafür spricht, so besteht nach meiner Meinung kein Zweifel, daß es sich um echte Höfe, aber von ganz besonders kleinen Dimensionen handelt.

Längeres Suchen nach anderen Schwärmen dieser Höfe hat sich als unfruchtbar erwiesen. Einige konnten hier und dort entdeckt werden, aber nichts so wohl Ausgeprägtes wie die ersten Anhäufungen.

Es ist von Interesse zu erwähnen, daß diese Höfe — sehr wohl — durch eines der bekannten Elemente hervorgebracht sein können. Denn sie müssen durch eine so schwach radioaktive Substanz verursacht sein, daß deren Radioaktivität durch keine der bekannten Methoden nachweisbar wäre. Dies folgt aus der außerordentlich kleinen Reichweite der verantwortlichen  $\alpha$ -Strahlen. Sie werden sich dessen erinnern, daß RUTHERFORD vor langer Zeit darauf hinwies, daß ein Zusammenhang besteht zwischen der Anfangsgeschwindigkeit, mit der ein  $\alpha$ -Teilchen ausgeschleudert wird, und der Halbwertszeit des Elementes, aus dem es entsteht. GEIGER und NUTTALL zeigten, daß sich eine bestimmte Beziehung ableiten läßt, die am einfachsten erkennbar wird, wenn man die Logarithmen der Zerfallskonstante gegen die Logarithmen der Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen aufträgt. Bei einer solchen Anordnung verteilen sich die Elemente jeder radioaktiven Familie längs einer bestimmten geraden Linie und die Linien für Uran-, Thorium- und Aktiniumserien sind merklich parallel. Aus dieser Untersuchung zog GEIGER den Schluß, daß Elemente, welche  $\alpha$ -Strahlen von sehr geringer Reichweite aussenden, eine so langsame Zerfallsgeschwindigkeit besitzen, daß keine bekannte Meßmethode imstande wäre, ihre Radioaktivität aufzudecken.

Aber die Summierung der Wirkung, die sich seit Äonen in den Höfen vollzogen hat, kann, wie wir gesehen haben, radioaktive Erscheinungen enthüllen, die für immer weit jenseits des Meßbereiches unserer Instrumente liegen. Es ist deshalb durchaus nicht unmöglich, daß wir in diesen Höfen die Radioaktivität einiger jener seltenen Elemente entdecken, die dieser Glimmer zuerst der Wissenschaft geschenkt hat.

Schließlich drängt sich uns überall in dem Studium der Höfe noch eine offenkundige Tatsache auf — die Seltenheit sichtbarer Radioaktivität in den Gesteinen sowie das ungeheure Alter der Radioaktivität, die wir beobachten. Ohne diesen Weg, der Radioaktivität in die Vergangenheit nachzugehen, hätten wir vernunftgemäß folgern können, daß sich in früheren geologischen Zeiten viele der bekannten Elemente im Stadium der radioaktiven Entstehung befanden. Das Studium der Höfe widerlegt diese Ansicht. Außerdem ist die uns bekannte Radioaktivität nicht in neuerer Zeit entstanden, sondern reicht bis in die ältesten Gesteine zurück, wie aus den Erscheinungen, die ich ihnen hier vorgetragen habe, klar hervorgeht. Die umgekehrten oder

geschwärtzten Höfe der archaischen Periode sehen ganz anders aus als die aus dem älteren Palaeozoikum. Tatsächlich kann der Geologe aus diesen Erscheinungen gewichtige Schlüsse auf das relative Alter der Gesteine, mit denen er sich beschäftigt, ziehen. Wir scheiden vom Studium der Höfe mehr denn je unter dem Eindruck des ungeheuren Alters

der Elemente, und doch wissen wir, daß einige von ihnen heutzutage auf der Erde aussterben und ihrer Existenz eine feste Grenze gesetzt ist. Nach tieferer Überlegung erkennen wir also, daß der Hof letzten Endes die unendliche Ferne jener vergangenen Zeiten beweist, die vermutlich Zeuge der Entstehung der Elemente waren.

## Über spektralphotometrische Untersuchungen.

VON ARTHUR BEER, Berlin-Neubabelsberg.

Unter den charakteristischen Größen, die für die stellarastronomische Forschung Bedeutung erlangt haben, ist es besonders auch die Temperatur der Sterne, der sich während der beiden letzten Jahrzehnte weitgehendes Interesse zugewandt hat. Gerade die Kenntnis möglichst zahlreicher und genauer Werte von Stern-temperaturen bietet oft die Möglichkeit, über die individuellen Merkmale des Gestirns selbst dann etwas auszusagen, über seine innere Struktur und sogar über seine Entfernung von uns, wenn andere, direkte, Methoden versagen.

Im Besitze der Sterntemperaturen gelangen wir unmittelbar zu einer Vergleichung der durch die Spektralklassifizierung festgelegten *Sternstypen* mit der Skala der zugehörigen Temperaturwerte und damit sodann zu einer wesentlichen Vertiefung unserer Studien über die *Entwicklung* der Sterne. Schon die zahlreichen Übergänge zwischen den einzelnen Spektralklassen in der Spektralfolge zeigen, daß — bei dem ziemlich gleichartigen chemischen Aufbau der Sterne — wir es nicht mit irgendwelchen physischen Sonderstellungen der einzelnen Spektralklassen zu tun haben und daß das Hauptcharakteristicum eines Sternes in seiner Temperatur zu suchen sein wird. — Die Entfernungsbestimmung des Sternes mittels seiner Temperatur, d. h. also die Ableitung einer sog. „indirekten Parallaxe“, kann allerdings nur in jenen Fällen erfolgen, wo wir den tatsächlichen Durchmesser des Sternes kennen; bei gewissen Doppelsternsystemen also, mit dementsprechend genau erforschten Bahnverhältnissen. Die Gültigkeit des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes vorausgesetzt, können wir dann ansetzen, daß sich die Flächenhelligkeiten eines Sternes und unserer Sonne wie die 4. Potenzen der zugehörigen Temperaturen verhalten werden. Von der so ermittelten Flächenhelligkeit des Sternes und seinem Durchmesser gelangen wir über seine bekannte scheinbare Helligkeit somit zu seiner absoluten Helligkeit resp. seiner *Parallaxe*. — Eine Umkehrung dieses Problemes wiederum führt für jene Sterne, bei denen außer der Temperatur auch noch ihre Parallaxe gegeben ist, zu Werten für die *Sterndurchmesser*. Die von verschiedener Seite in den letzten Jahren so abgeleiteten „effektiven Sterndurchmesser“ sind jetzt dank der Michelsonschen Interferenzmethode der direkten Prüfung zugänglich. Diese Sterndurchmesser nun führen, bei bekannten Massen, andererseits auf die mittlere *Sterndichte*. — Von den weiteren mannigfachen Untersuchungen, die sich mit der Kenntnis der Sterntemperaturen aufdrängen, sei als letztes schließlich noch erwähnt — die Betrachtung des Zusammenhanges zwischen der Temperatur und der *Farbe* des Sternes bzw. deren Äquivalenten, dem *Farbenindex* und der *effektiven Wellenlänge*. Gerade diese Größen gewinnen ja eine immer größere Bedeutung in der modernen Astrophysik, sind sie doch für alle lichtschwächeren Sterne, die einer direkten Spektralbestimmung nicht zugäng-

lich sind, mit die einzigen Daten, die uns für die physikalische Charakterisierung dieser Sterne, — insbesondere bei ausgebreiteten statistischen Untersuchungen —, zur Verfügung stehen.

Nach diesen Bemerkungen über die durch die Behandlung des Temperaturproblem der Fixsterne erstrebten Erkenntnisse, gehen wir auf die zu ihnen hinführenden *spektralphotometrischen Methoden* und auf die Ergebnisse der bisherigen wesentlichen Messungsreihen über. Im besonderen werden wir den ausgedehnten Brillischen Untersuchungen der letzten Zeit unser Interesse zuzuwenden haben.

Wie schon der Name „Spektralphotometrie“ sagt, handelt es sich hier um Helligkeitsmessungen innerhalb des Spektrums selbst, — also, im Gegensatz zur eigentlichen Photometrie, nicht um eine Bestimmung der Gesamthelligkeit von Objekten, sondern um eine Helligkeitsvergleichung der einzelnen Spektralgebiete. — Die erlangte Kenntnis dieser Helligkeitsverteilung für ein bestimmtes Spektrum führt uns also unmittelbar auf die *Energiekurve des Spektrums*. — Bekanntlich gewährt uns die Plancksche Strahlungsformel Einblick in den Zusammenhang zwischen der Strahlungsenergie und der Temperatur des strahlenden Körpers. Ist  $E_\lambda$  die spektrale Energie in dem durch die Wellenlänge  $\lambda$  charakterisierten Spektralgebiete und  $T$  die „effektive Temperatur“, d. h. also die Temperatur des als *schwarz strahlend* vorausgesetzten Körpers; sind ferner  $C$  und  $c$  zwei Konstante, deren erste eine dem Stern individuelle Größe hat, während  $c$  universell ist, und zwar mit dem Betrage von  $14\,350 \mu$  grad, dann gilt nach PLANCK:

$$E_\lambda = C \cdot \lambda^{-5} (e^{c/\lambda T} - 1)^{-1}.$$

Ob wir die zu uns gelangende Strahlung der Fixsterne als schwarze Strahlung auffassen dürfen, ist eine oft diskutierte Frage; nur deren Bejahung kann uns berechtigen, die Plancksche Formel zur Ableitung von Sterntemperaturen auf Grund der beobachteten Spektralverteilung heranzuziehen. Wir kommen später darauf zurück.

Von den bisherigen Messungen der spektralen Helligkeitsverteilung sind es vorwiegend zwei Reihen, die ihrer größeren Ausdehnung wegen für das Temperaturproblem der Fixsterne eine größere Bedeutung erlangt haben: Die *visuellen* Messungen am Potsdamer Astrophysikalischen Observatorium<sup>1)</sup> und die *photographischen* Untersuchungen von H. ROSENBERG<sup>2)</sup>.

Die Potsdamer Messungen von WILSING, SCHEINER und MÜNCH wurden mit einem Spektralphotometer des Crovaschen Typus durchgeführt: Im Okulare des

<sup>1)</sup> Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam; Nr. 56, 1909 und 1919, Nr. 74.

<sup>2)</sup> H. ROSENBERG, Photographische Untersuchung der Intensitätsverteilung in Sternspektren, Nova acta der K. Leop.-Karol. Deutschen Akad. der Naturforscher, 101, Nr. 2; Halle a. S. 1914.

Beobachtungsfernrohres erscheint unterhalb des Sternspektrums ein — durch eine Glühlampe erzeugtes — Vergleichsspektrum, dessen Helligkeit durch ein Nicolsystem in meßbarer Weise verändert wird; die Vergleichslampe wird an einem schwarzen Strahler von bekannter Temperatur geaicht. Ursprünglich wurden in Potsdam fünf Spektralstellen, später 10 Stellen, aus möglichst absorptionsfreien Gebieten der Sternspektren ausgewählt und mit den jeweils entsprechenden Stellen des Vergleichsspektrums photometrisch verglichen. Nach sorgfältiger Berücksichtigung zahlreicher Instrumentalreduktionen konnte sodann mittels der Planckschen Strahlungsformel die Ableitung eines Temperaturkataloges erfolgen: „Effektive Temperatur von 199 Sternen.“

Ganz anders hat ROSENBERG sein Verzeichnis gewonnen, das die Temperaturen von 70 Sternen enthält. Die Sternspektren sind hier photographisch aufgenommen und gleichzeitig mit ihnen als Vergleichsspektrum der Stern  $\alpha$  Aquilae bzw. die Sonne. Nach der Helligkeitsausmessung an etwa 60 Spektralstellen und der Annahme eines plausiblen Temperaturwertes für die Sonne, führte dann auch hier die Plancksche Strahlungsformel zu absoluten Zahlenwerten für die effektiven Sterntemperaturen.

Über die numerischen Werte der Sterntemperaturen wurde an einer anderen Stelle dieser Zeitschr. eine anschauliche Übersicht gegeben<sup>3</sup>). Hier kommen jetzt nur jene Resultate in Betracht, die sich bei der *Vergleichung der Potsdamer und der Rosenbergschen Werte* darbieten. Bei beiden Reihen bewegen sich die Sterntemperaturen in gleichem Sinne abnehmend, wenn man die Sterne in einer von den frühen zu den späten Spektraltypen fortschreitenden Folge anordnet. Dieser qualitativen Gemeinsamkeit der beiden Reihen steht aber in quantitativer Hinsicht gegenüber, daß die Zahlenwerte selbst, sehr beträchtlich voneinander *abweichen*. So sind die Temperaturen der heißen Sterne bei WILSING erheblich tiefer, als bei ROSENBERG; andererseits sind aber für die kälteren Sterne wiederum die Potsdamer Werte die höheren, gegenüber ROSENBERGS Angaben (dessen Temperaturen bis auf 2000° heruntergehen); bei einem Temperaturwerte von ungefähr 5000° fallen beide Skalen zusammen. Bereits in der Diskussion seiner Arbeit führte ROSENBERG den Nachweis, daß seine Temperaturskala und die Potsdamer Reihe sich durch die folgende lineare Funktion *ineinander überführen lassen*:

$$(c/T) [\text{ROSENBERG}] = 10/6,2 \cdot (c/T) [\text{Potsdam}] - 2,00.$$

Über die Ursache dieser Abweichungen aber war trotz kritischer Untersuchung der möglicherweise vorhandenen Fehlerquellen kein abschließendes Urteil zu gewinnen.

Hier setzten nun A. BRILLS „Spektralphotometrische Untersuchungen“ ein<sup>4</sup>), die ihren Anlaß in dem Bestreben haben, die systematischen Abweichungen dieser Temperaturskalen aufzuklären. Den Ausgangspunkt dieser Arbeiten bot die Einführung gewisser Differenzgrößen spektraler Helligkeiten. Der neue Begriff von BRILLS „spektralem Farbenindex“, ist völlig analog dem „photographischen Farbenindex“ aufgestellt. Wie man als photographischen Index die Differenz der photographischen gegenüber der visuellen

Gesamthelligkeit des Sternes anzusehen hat, so fungiert als „spektraler Farbenindex“ jetzt die *Differenz zwischen der Helligkeit irgendeiner bestimmten Spektralstelle gegenüber der visuellen Gesamthelligkeit des Sternes*. Während also jedem Sterne nur *ein einziger* allgemeiner (photographischer) Farbenindex zukommt, gibt es *beliebig viele* „spektrale Farbenindices“ für diesen Stern, je nach dem Wellenlängengebiet, nämlich, das man für diese Helligkeitsvergleiche aus dem gesamten Sternspektrum gerade auswählt.

BRILL zieht zunächst die Rosenbergsche Messungsreihe heran. Er bildet für alle ihre Sterne die „relativen“ spektralen Farbenindices; er zieht also zur Bildung seiner Farbenindices nicht die spektralen Helligkeiten als solche heran, sondern er verwendet hierzu diejenigen spektralen Helligkeitsdifferenzen die sich für die einzelnen Spektralgebiete des Sternes gegenüber den jeweils entsprechenden Stellen (des von ROSENBERG benutzten Vergleichsspektrums) von  $\alpha$  Aquilae ergeben. — Über den *Gang dieser Größen mit dem Spektraltypus* liefert BRILL durch eine ausgetriebene Tabelle ein anschauliches Bild. Vereinigt man nunmehr diese Einzelangaben zu Mittelwerten für den gesamten Rosenbergschen Wellenlängenbereich, so ermöglichen diese „mittleren spektralen Farbenindices“, — da deren mittlere Wellenlänge ( $\lambda$  430  $\mu\mu$ ) sehr nahe auch mit der mittleren Wellenlänge ( $\lambda$  428  $\mu\mu$ ) des photographischen Farbenindexverzeichnisses von E. S. KING<sup>5</sup>) übereinstimmt, — eine direkte Vergleichung mit diesem. Hierbei zeigt sich eine völlige Gleichwertigkeit beider Skalen, d. h. also zwischen der von BRILL aus ROSENBERGS Messungen der einzelnen Spektralgebiete abgeleiteten Skala einerseits und der von KING für die gesamte (photographisch) wirksame Strahlung aufgestellten Skala andererseits.

Ganz ähnlich geht die Untersuchung der Wilsingschen Messungen vor sich, — die ja bereits ihrer Anlage nach, direkt „absolut spektrale Farbenindices“ liefern, indem die mittlere Wellenlänge dieser Potsdamer spektralen Messungen sehr nahe mit derjenigen der visuellen Helligkeiten zusammenfällt.

Für beide Reihen, für die Wilsingsche wie für die Rosenbergsche, wird als nächstes nunmehr die *Farbenindex-Differenz* zwischen dem frühesten und dem spätesten Spektraltypus gebildet, also für die Bo- und die Ma-Sterne. Eine graphische Darstellung dieser Farbenindex-Differenzen als Funktion der reziproken Wellenlänge ergibt eine Kurve, die mit wachsendem  $1/\lambda$  ständig steiler wird (Fig. 1). Ersetzt man sowohl für das Wellenlängengebiet der Rosenbergschen Messungen ( $\lambda$  400  $\mu\mu$  —  $\lambda$  500  $\mu\mu$ ), als auch für das Potsdamer Gebiet ( $\lambda$  451  $\mu\mu$  —  $\lambda$  642  $\mu\mu$ ) den entsprechenden Kurventeil jeweils durch eine Gerade, so stehen die trigonometrischen Tangenten der Winkel zwischen diesen beiden Geraden und der Horizontalen ( $46^\circ$  bzw.  $32^\circ$ ) in dem gleichen Verhältnis (10 : 6), welches bereits ROSENBERG — wie schon oben erwähnt — für die Transformation der beiden Temperaturskalen ineinander angegeben hatte. Wir fragen uns nun: Welches ist die theoretisch zu erwartende Gestalt unserer Kurve, bzw. also welches ist die funktionelle Abhängigkeit, welche zwischen der spektralen Energie und der reziproken Wellenlänge vorherrscht? Eine ganz einfache Umformung auf Grund des Planckschen Strahlungsgesetzes, — sowie die von WIEN angegebene ältere Formel für die spektrale Intensitätsverteilung, die ja bekanntlich bis  $\lambda T = 3000$  allen Laboratoriums-

<sup>3</sup>) A. KOPFF, Sterntemperaturen, Naturwissenschaften 1923, H. 43.

<sup>4</sup>) Astronomische Nachrichten, Kiel 1923, I., Bd. 218, Nr. 5222—5223; II., Bd. 219, Nr. 5234; III., Bd. 219, Nr. 5254.

<sup>5</sup>) „Annals of the Observatory of Harvard College“ Bd. 76.



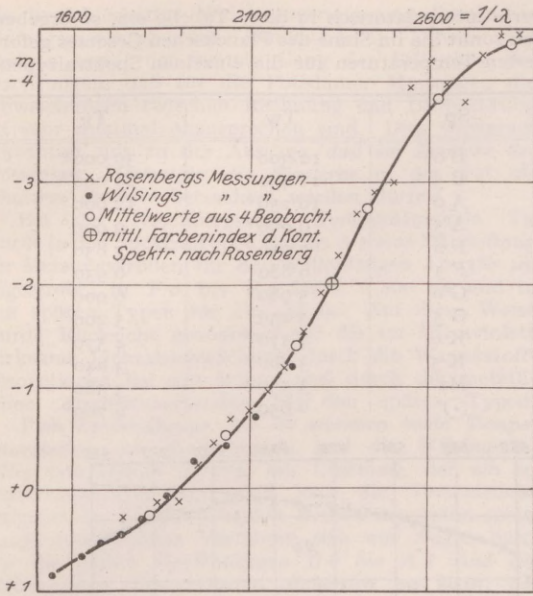


Fig. 1. Relativer Farbenindex der Sterne.  
(Typus Bo gegen Ma in Abhängigkeit von  $\lambda$ .)

versuchen genügt hat, — liefert den Ausdruck:  $\lg(I_\lambda/I'_\lambda) = K \cdot 1/\lambda$ , worin  $I_\lambda$  und  $I'_\lambda$  die spektralen Energien bedeuten und  $K$  eine Konstante. — Mit anderen Worten also: Das Plancksche Strahlungsgesetz verlangt für unsere Farbenindexkurve die Form der geraden Linie. Diese Folgerung ist aber durch die Gestalt unserer Kurve nicht erfüllt. Wir haben also zu folgern, daß innerhalb unseres ganzen zusammengesetzten Bereiches die Sterne — infolge irgendwelcher allgemeiner oder selektiver Absorptionswirkungen — sich nicht mehr wie schwarze Strahler verhalten!

Im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen führt A. BRILL die „isophote Wellenlänge“ ein, — als diejenige Wellenlänge des Spektrums, für die sich als Helligkeit der gleiche Wert wie für das Gesamtlicht des Sternes ergibt. — Hierbei ist von einer (allen Spektraltypen gemeinsamen) Konstanten abgesehen. — Je nachdem, ob dieses Gesamtlicht als visuelle oder als photographische Wirkung gemeint ist, unterscheidet man naturgemäß die isophote Wellenlänge der visuellen und die der photographischen Helligkeit. Für erstere bezieht sich BRILL auf die „Harvard Revised Photometry“ (Harvard Annals Bd. 50), für letztere auf E. S. KINGS Verzeichnis (Harvard Annals Bd. 76).

Es ist für uns nunmehr von wesentlichem Interesse, die Art des funktionalen Zusammenhanges zwischen den isophoten Wellenlängen und dem Spektraltypus kennen zu lernen. BRILL benutzt zu diesem Zwecke seine, für die einzelnen Spektraltypen durchgeführten, graphischen Darstellungen der „relativen spektralen Farbenindices in Bezug auf  $\alpha$  Aquilae“ als Funktion der reziproken Wellenlänge. Diese Kurven entnimmt er die (relative) isophote Wellenlänge der visuellen Helligkeit nunmehr einfach als dasjenige  $\lambda$ , für welches der „relative spektr. Farbenindex“ zu Null wird; in gleicher Weise folgt die isophote Wellenlänge der (relativen) photographischen Helligkeit dann als jenes  $\lambda$ , dessen relat. spektr. Farbenindex gleich wird dem Kingschen Farbenindex (dem relativen, d. i. bezogen auf  $\alpha$  Aquilae als Nullpunkt).

Werden noch in zweckentsprechender Weise die Nullpunkte der Zählung für diese beiden Systeme der isophoten Wellenlängen festgestellt, so gelangt man zu folgender Abhängigkeit vom Spektraltypus<sup>6)</sup>.

	Bo	Ao	Fo	Go	Ko	Ma
$\lambda$ ( $\mu$ ) vis.	525	530	532	534	535	535
„ phot.	415	424	430	433	435	436

Es mag fernerhin jetzt auch von Interesse sein, für eine Anzahl der bekanntesten Photometrien die mittleren isophoten Wellenlängen anzugeben; BRILL findet für:

Harvard Revised Photometry, Harv. Ann. 50 ( $\lambda$  526  $\mu$ ); Potsdamer Generalkatalog, Potsd. Publ. 17 ( $\lambda$  581  $\mu$ ); E. S. KINGS photographische Helligkeiten, Harv. Ann. 76: ( $\lambda$  428  $\mu$ ); Göttinger Aktinometrie, Mitt. d. Gött. Sternw. 14 ( $\lambda$  429  $\mu$ ); Yerkes-Aktinometrie, photovisuelle bzw. photographische Größen, Astrophysical Journal 36: ( $\lambda$  584  $\mu$  bzw.  $\lambda$  426  $\mu$ ); GRAFFS photographische Helligkeiten mit Blaufilter, Astronom. Nachr. 215, Nr. 5158: ( $\lambda$  463  $\mu$ ); mittlere Wellenlänge von WILSINGS bzw. von ROSENBERGS spektralphotometrischen Messungen ( $\lambda$  531  $\mu$  bzw.  $\lambda$  430  $\mu$ ).

Die ursprünglichen, von ROSENBERG gegebenen Energiekurven waren „relative“, d. h. sie waren bezogen auf die Energieverteilung im Spektrum eines Anschlußsternes, nämlich  $\alpha$  Aquilae. Die Überführung dieser Kurven in die „absoluten Energiekurven“ erfolgt bei BRILL durch die Ermittlung der Energieverteilung im Spektrum von  $\alpha$  Aquilae auf zwei verschiedenen Wegen.

Einmal geschieht dies durch die Heranziehung derjenigen 38 Sterne, welche sowohl den Potsdamer absoluten als auch den Rosenbergschen relativen Messungen gemeinsam sind. — Ein mittlerer  $c/T$ -Wert, für diese 38 Sterne berechnet, dient nunmehr vermittels der Planckschen Strahlungsformel dazu, für alle Wellenlängen des Rosenbergschen Messungsbereiches die spektrale Energie berechnen zu können. Die Differenz von Beobachtung minus Rechnung liefert dann direkt die Energieverteilung im Spektrum von  $\alpha$  Aquilae.

Das gleiche Ziel wird sodann auch noch auf einem zweiten Wege erreicht, nämlich durch die Benutzung der Rosenbergschen relativen spektralen Intensitätsmessungen der Sonne („relativ“, d. h. bezogen auf  $\alpha$  Aquilae); mit diesen werden einfach verbunden die Werte für die nach vielfachen und verschiedenen Methoden bestimmte absolute Energieverteilung im Sonnenspektrum.

Drei Wellenlängen des Wilsingschen Meßbereiches sind es, die hierbei (d. i. bei dem erstgenannten Verfahren) beträchtlich herausfallen; sie wurden bei einer zweiten Ausgleichung ausgeschlossen. Worin die Ursache dieser Unstimmigkeit zu suchen ist, läßt sich schwer entscheiden, wengleich die Unabhängigkeit dieses systematischen Fehlers vom Spektraltypus darauf hinzudeuten scheint, daß es sich um spektrale Besonderheiten der Potsdamer Vergleichslampe handelt und nicht etwa um eine erhöhte Lichtemission in der Nachbarschaft der Wasserstoffabsorptionen des Sternspektrums.

Der für die mittlere Intensitätsverteilung im Spektrum der 38 Sterne sich ergebende  $c/T$ -Wert ist um 0,25 kleiner als die ursprüngliche Potsdamer Größe, die bei

<sup>6)</sup> Die hier wiedergegebene Tabelle, welche von derjenigen der Originalabhandlung abweicht, ist einer neueren, noch unveröffentlichten Untersuchung A. BRILLS entnommen.

der Rechnung als Näherungswert diene. Dieser Unterschied 0,25 ist aber genau derjenige Betrag, um den WILSING seine neueren Messungen an 10 Stellen des Spektrums korrigiert hat, um sie mit seinen älteren Messungen an 5 Stellen in Übereinstimmung zu bringen. Es zeigt sich somit jetzt, daß diese *Homogenisierung* der beiden Potsdamer Reihen unberechtigt war und daß also alle  $c/T$ -Werte des zweiten Potsdamer Temperaturkataloges um durchschnittlich 0,25 zu groß angegeben sind.

Unsere angestrebten *absoluten Energiekurven* für die Sterne der Rosenbergschen Messungen erhalten wir nunmehr also durch einfache Vereinigung der *Energiekurve von  $\alpha$  Aquilae* mit den früher abgeleiteten *relativen Energiekurven*. Auf einer Tafel gibt BRILL für die Spektraltypen B 4, A 4, F 4, G 4, K 4 und Ma diese Kurven wieder (Fig. 2). Außer dem für alle Kurven charakteristischen *Absorptionsgebiet* im Ultraviolett erkennt

werte interpolatorisch in diese Tabelle ein, so ergeben sich somit die im Sinne des Planckschen Gesetzes geforderten Temperaturen für die einzelnen Spektraltypen.

Sp	$T_w$	$T_R$
B 0	12 300°	30 000°
B 5	11 450°	18 000°
A 0	10 250°	12 000°
A 5	9 000°	9 000°
F 0	7 950°	7 850°
F 5	6 880°	6 930°
G 0	5 980°	6 000°
G 5	5 250°	5 200°
K 0	4 570°	4 570°
K 5	3 860°	3 840°
Ma	3 550°	3 580°
○	6 650°	6 700°

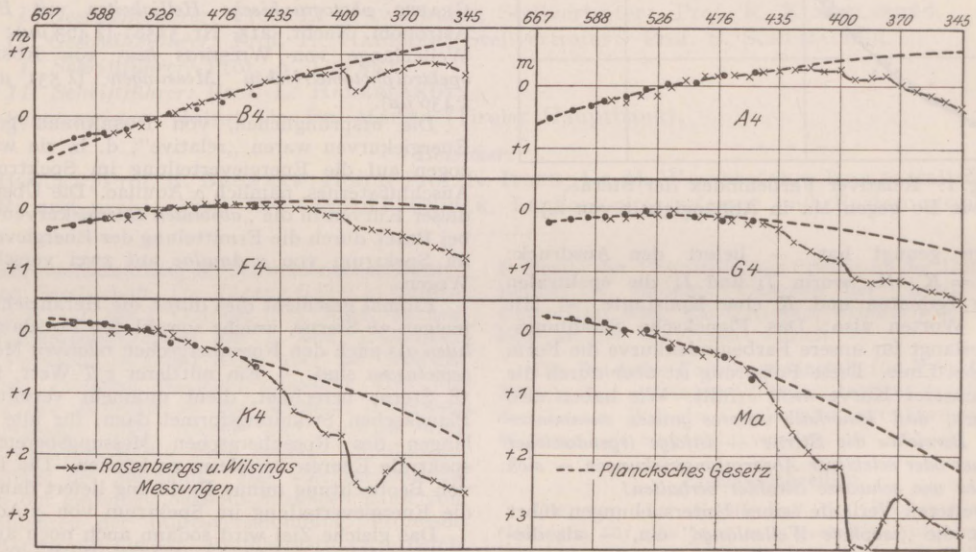


Fig. 2. Mittlere Energiekurven einzelner Spektraltypen.

man die *Verschiebung des Intensitätsmaximums* gegen die langen Wellenlängen hin, wenn man zu späteren Spektraltypen fortschreitet. Bei beiden Arten der Energiekurven, der Potsdamer wie der Rosenbergschen, zeigt sich eine sehr befriedigende *Übereinstimmung*, die um so bemerkenswerter ist, als ja ohnehin die photographischen Rosenbergschen Werte für die größeren Wellenlängen eine erhebliche Unsicherheit besitzen.

Zwei Anwendungen, die auf den bisherigen Resultaten fußen, seien nur kurz erwähnt. Einerseits handelt es sich um die Bestimmung der mittleren absoluten Energiekurve der *Nova Geminorum 2* für die Beobachtungsjahre 1912 und 1913; andererseits um eine Berechnung des photographischen Farbenindex der *Sonne*, der sich hierbei zu + 0,55 m ergibt.

Im abschließenden Teile seiner Untersuchungen wendet sich BRILL nunmehr den aus den obigen Energiekurven zu folgernden Sterntemperaturen zu. Im Anschluß an ROSENBERGS Untersuchungen wird eine Tafel aufgestellt, die zu den beiden Argumenten  $T$  (zwischen 2000° und 40 000°) und  $\lambda$  (zwischen 345  $\mu$  und 642  $\mu$ ) die nach der Planckschen Strahlungsformel errechneten Energiewerte enthält. Hängt man also die Wilsingschen und die Rosenbergschen Energie-

In der 1. Spalte der beigegeführten Tabelle sind unter  $Sp$  die Spektraltypen angegeben; daneben stehen unter  $T_w$  die sich aus den Potsdamer Messungen ergebenden Temperaturen, während sich in der dritten Spalte als  $T_R$  die Rosenbergschen Werte befinden.

Was den Betrag der *Sonnentemperatur* anbelangt, wie er in der letzten Zeile des Täfelchens angegeben ist, so ist dieser beträchtlich größer als die sonst in der Literatur zu findenden Werte; andererseits ist er aber in bester Übereinstimmung mit der von H. H. PLASKETT in jüngster Zeit bestimmten Temperatur von 6700 bis 7000° für den zentralen Teil der Sonne<sup>7)</sup>.

Die obige von BRILL abgeleitete Temperaturskala  $T_w$  kann nunmehr mit der ursprünglichen Potsdamer verglichen werden. Zu diesem Zwecke bedient sich BRILL einer Skala, die von F. H. SEARES durch Mittelbildung aus allen 199 Potsdamer  $c/T$ -Werten für die einzelnen Spektraltypen aufgestellt worden ist<sup>8)</sup>. Es zeigt sich zwischen beiden Temperaturskalen jener Unterschied von 0,25, den wir bereits früher als

<sup>7)</sup> „Publications of the Dominion Astrophysical Observatory“, 2, Nr. 12. Victoria B. C., 1923.

<sup>8)</sup> „Astrophysical Journal“ Bd. 55, 1922.

die in fehlerhafter Weise angenommene Potsdamer Homogenisierungsgröße kennengelernt haben. Im übrigen ergibt der weitere Gang der Brillischen Betrachtungen, daß für die Potsdamer Messungen die Abweichungen zwischen Rechnung und Beobachtung als sehr minimal anzusprechen sind. Dies wiederum berechtigt uns zu der Aussage, daß im Bereiche der Potsdamer Messungen die Fixsterne in der Tat als schwarze Strahler betrachtet werden dürfen.

Bei der Rosenbergschen Temperaturskala  $T_R$  wurde in den Spektraltypen B 0 bis A 5 eine Darstellung der Messungsgrößen für die Wellenlängen  $\lambda > 380 \mu\mu$  angestrebt, in F 0 bis F 5 für  $\lambda > 400 \mu\mu$  und in den späten Typen für  $\lambda > 450 \mu\mu$ . Auf diese Weise wurde Rücksicht genommen auf die im Ultraviolett wirksame Lichtabschwächung durch die Wasserstoffabsorptionen bei den frühen und durch die metallischen Absorptionsbanden bei den späten Typen.

Vom Spektraltypus A 5 ab stimmen beide Temperaturskalen, die Rosenbergsche und die Wilsingsche, völlig miteinander überein, ein Umstand, der um so bemerkenswerter ist, wenn man die Verschiedenartigkeit der in diesen beiden Reihen benutzten spektralphotometrischen Verfahren sich vor Augen hält. Für die frühen Spektraltypen B 0 bis A 5 sind die Wilsingschen Temperaturen sicherlich zu klein; die wahren Temperaturen für diese Typen werden vermutlich zwischen den Werten Wilsings und Rosenbergs liegen.

Zusammenfassend können wir jetzt also über die

uns vorliegenden Skalen von Sterntemperaturen aussagen, daß die zwischen ihnen aufgetretene Disharmonie, — die uns zum Ausgangspunkte unserer Betrachtungen geworden war — nunmehr ihre Klärung gefunden hat. Es zeigte sich, daß beiden erzielten Skalen als solchen, — also sowohl den Potsdamer als den Rosenbergschen Resultaten, — völliges Vertrauen zugewandt werden darf, daß aber andererseits die seinerzeitige Vergleichung dieser Skalen nicht ohne weiteres angängig gewesen ist. Erst die Beseitigung entstellender Einflüsse innerhalb des in Potsdam untersuchten Wellenlängenbereiches, die Ausschaltung einer irrigerweise vorgenommenen Reduktion und vor allem auch die sorgfältige Diskussion der sich geltend machenden Absorptionswirkungen in den Sternspektren, führte beide Skalen zusammen. Um so erfreulicher ist nach alledem daher, die fast vollkommene numerische Übereinstimmung der Sterntemperaturen, wie sie sich, als die mittleren Werte für die einzelnen Spektraltypen, uns dann im vorliegenden ergeben haben.

Übrigens findet die oben angeführte Temperaturskala noch eine weitere Stütze darin, daß es BRILL im Verlaufe späterer Arbeiten gelungen ist, die Kingschen Farbenindices durch eine annähernd schwarze Strahlung dieser obigen Temperaturfolge darzustellen. Die diesbezüglichen Untersuchungen werden demnächst erst in den Veröffentlichungen der Berlin-Babelsberger Sternwarte zur Mitteilung gelangen.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Über die elektrostatische Verzerrung von Atomen durch benachbarte Ionen.

Vor etwas mehr als einem Jahr erschien an dieser Stelle ein Aufsatz von K. FAJANS über Deformationswirkungen an Ionen<sup>1)</sup>, der eine Reihe von Spezialarbeiten über dieses Thema ankündigte und die dabei gewonnenen Ansichten mitteilte. In der ohne Zweifel höchst bedeutsamen Frage, welchen Anteil an den Atomkräften, insbesondere den Valenzkräften, Deformationswirkungen haben, nimmt Herr FAJANS einen sehr extremen Standpunkt ein, indem er in einer Reihe von Fällen, in denen der Verfasser die Verbindungseigenschaften aus den Wirkungen der Ionenladungen aufeinander herleitete, den heteropolaren Charakter gänzlich leugnet und allein Deformationswirkungen im Spiele sieht. Dem Verfasser scheinen die Gründe dafür sehr unsicher, und er würde der Meinung sein, daß die ziemlich diffizilen Fragen nach den Beträgen, mit denen hier die Verzerrungswirkungen eingreifen, zunächst in der physikalischen Spezialliteratur zu klären seien, wenn nicht jene Ansichten als so sicher hingestellt und dazu immer wieder versichert würde, die Ergebnisse des Verfassers erwiesen sich „bei näherer Prüfung in sehr vielen Fällen als scheinbar“, „seien nicht aufrechtzuerhalten“ u. dgl. Da diese Angaben z. T. ohne Begründung gemacht werden, könnte es scheinen, als handle es sich um wohl erwiesene Ansichten, während sie in der Tat auf die erst angekündigten Arbeiten begründet zu sein scheinen. Von diesen ist jetzt die für diese Angaben wesentliche Arbeit erschienen<sup>2)</sup>, und so möchte der Verfasser jene

mit so großer Bestimmtheit gemachten kritischen Bemerkungen nicht länger ohne Antwort lassen, zumal man auch der historischen und sachlichen Darstellung der Grundfrage, was die Deformationswirkungen für die Natur der Valenzkräfte bedeuten, nicht zustimmen kann.

Daß benachbarte Ladungen das Elektronengebäude eines Atoms verzerren müssen, ist eine bekannte Konsequenz der Elektrostatik. Der Verfasser kann sich nun nicht erinnern, dagegen jemals die ihm von Herrn FAJANS zugeschriebene Ansicht geäußert zu haben, die Ionen seien starr und besäßen streng isotrope Felder. Vielmehr ist in der Arbeit des Verfassers von 1916, deren Überlegungen Herr FAJANS angreift, ausdrücklich von Deformationen, als einer notwendigen Konsequenz der Elektrostatik, die Rede, was von Herrn FAJANS nicht erwähnt wird, und in einer mit Figuren erläuterten Auseinandersetzung von einigen Seiten ist der von Herrn FAJANS als Ergebnis seiner Überlegungen erwähnte Übergang von heteropolarer zu homöopolarer Bindung durch Deformation bereits besprochen. Ebenso wie dem Verfasser derartige Einschränkungen fern lagen, hat Herr BORN, dem ebenfalls die Annahme starrer Ionen zugeschrieben wird, bereits 1919 die Eigenschaften „deformierbarer Elektronenwolken“ benutzt.

Da die Deformationen allgemein als Folgen Coulombscher Kräfte angesehen werden und auch Herr FAJANS sie als Wirkung der Ladungen behandelt, kann man kaum zustimmen, wenn in jenem Aufsatz stets gegen die „reine Elektrostatik“ polemisiert wird. Die Kräfte zwischen den Ionenladungen, die Herr FAJANS so bezeichnet, sind um nichts elektrostatischer als die, die zu den Deformationen führen. An den Annahmen über die Natur der chemischen Kräfte wird also nichts geändert, wenn man die Deformationswirkungen mitbeachtet, sie beruhen, soweit wir bisher wissen, einheitlich auf elektrostatischen Wirkungen.

<sup>1)</sup> K. FAJANS, „Struktur und Deformation der Elektronenhüllen in ihrer Bedeutung für die chemischen und optischen Eigenschaften anorganischer Verbindungen“, Die Naturwissenschaften II, 165. 1923.

<sup>2)</sup> K. FAJANS und G. JOOS, Zeitschr. f. Physik. 23, I. 1924.

Als einen Grund, aus dem besonders vor der elektrostatischen Auffassung zu warnen sei, führt Herr FAJANS, unter Berufung auf NERNST, an, daß das „Fehlen der Quantengesetze“ gegen sie spreche. Man hat also den Eindruck, als werde bei elektrostatischer Behandlung der Valenzkräfte etwas vernachlässigt, was die Verhältnisse ändern würde. Daß das nicht zutrifft, ist so oft hervorgehoben worden, daß dieser Einwand einer neuen Begründung bedürft hätte. Abgesehen davon, daß der Verfasser z. B. bei einer Darstellung in dieser Zeitschrift mit seinen Grundannahmen ausdrücklich an die Bestätigung der Elektrostatik anknüpft hat, die uns (neben der  $\alpha$ -Strahlenstreuung) die Bohrsche Quantentheorie des Atoms in ihrer bisherigen Entwicklung gebracht hat, ist auch z. B. in dem Sommerfeldschen Werk gerade dieses Einwandes wegen hervorgehoben, wo hier die Quantentheorie steckt. Wir haben also noch einmal hervor, daß die Quantentheorie nach bisheriger Kenntnis die Elektrostatik nicht *aufhebt*, sondern unter den elektrostatisch-mechanisch möglichen Bewegungszuständen bestimmte *auswählt*. Es gilt bisher als Grundsatz bei der Anwendung der Quantentheorie, daß die stationären Zustände nach klassischer Mechanik und Elektrostatik zu berechnen sind. Es würde also geradezu einen Verstoß gegen die bisher bewährten Sätze der Quantentheorie bedeuten, wollte man bei der Behandlung der Wechselwirkung von Atomsystemen von der Elektrostatik abweichen. Es mag sein, daß sich noch einmal die Notwendigkeit herausstellt, in der Bestimmung der Quantenbahnen von den klassischen Gesetzen abzuweichen, auf die *bisher* bewährten Quantengesetze aber kann man sich gegen die elektrostatische Valenztheorie nicht berufen. Wir führen über diese prinzipielle Frage noch einen Satz aus der kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Nobelpreisrede N. BOHRS an. Es ist von den Gesetzen die Rede, „die für die Anziehung und Abstoßung von elektrischen Ladungen gelten. Die Möglichkeit einer eingehenden Rechenschaft von den Eigenschaften der Elemente, die auf den letztgenannten Gesetzen basiert ist, ist gerade das Charakteristische für das auf der Quantentheorie aufgebaute Bild vom Atombau.“

Herr FAJANS führt Zusammenhänge, die der Verfasser aus den Wirkungen der Ionenladungen ableitete, als vom Verfasser „hervorgehobene Tatsachen“ bzw. „Regeln“ an, die nun mit Hilfe seiner Überlegungen über Deformationen „verständlich“ würden, ohne zu erwähnen, daß sie es schon waren (§ 5, § 8). Nur Ergebnisse, die mit Hilfe der ersten Näherung nicht zu erhalten sind, sind wirklich von Wert für die Erkenntnis der Deformationswirkungen. Im einen Fall fehlt eine Erläuterung der neuen Erklärung zuwiderlaufenden Fälle:  $\text{CF}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SiF}_4$  sind flüchtiger als die Chloride.

Mit Bezug auf die in Einleitung und Schluß des besprochenen Aufsatzes gegebenen Versicherungen, daß sich die Ansichten des Verfassers „bei näherer Prüfung in sehr vielen Fällen als scheinbar erwiesen“ usw., sei es erlaubt, von den unbestimmteren Äußerungen, an denen sich nicht anknüpfen läßt, abzusehen und nur eine zu besprechen, in der Herr FAJANS sich mit besonderer Sicherheit äußert und in der sich nach der soeben erschienenen Spezialarbeit übersehen läßt, wie die Begründung gedacht ist. Auch in der Abstufung des sauren und basischen Charakters der Hydroxyde soll die Betrachtung mit Hilfe der Ionenladungen aufgegeben werden: „Die rein elektrostatische, bereits in die Lehrbücher übergegangene Theorie der Basen und Säuren von KOSSEL, der die Annahme starrer Ionen zugrunde liegt, läßt sich jedoch nicht aufrechterhalten, da z. B. im Perchloration die Deformation so weitgehend ist,

daß dieses Ion sicherlich weder  $\text{Cl}^{7+}$  noch  $\text{O}^{--}$  enthält.“ Soweit der Verfasser zu sehen vermag, ist diese letztere Ansicht völlig auf die Betrachtung der optischen Eigenschaften der Säureanionen gegründet, nämlich auf ihre Farbe und ihren Beitrag zum Brechungsvermögen. Aus ihnen werden Schlüsse auf „Festigung“ und „Lockerung“ von Bindungen gezogen und aus starken Änderungen gefolgert, daß sich die Art der chemischen Bindung verändert, etwa der heteropolare Charakter in homöopolaren umgewandelt haben müsse. Die Berechtigung dieses Schlusses ist nicht einzusehen. Gewiß ist zu vermuten, daß eine solche Umwandlung die optischen Eigenschaften stark beeinflussen mag, Schlüsse im umgekehrten Sinn aber könnten heute nur mit der größten Vorsicht gezogen werden, wenn man bereits starke Anhaltspunkte anderer Art besäße. Wenn schon nach der klassischen Theorie schwer anzugeben wäre, wie man aus einer Änderung des Brechungsvermögens auf eine Änderung des polaren Baus der Molekel schließen sollte, berührt heute das ganze Gebiet die prinzipiell schwierigsten Punkte der Quantentheorie. Man vermißt aber schon deren einfachste Anwendung: die Farbe z. B. wird einfach mit den Energiedifferenzen benachbarter Bahnen zusammenhängen, kann aber doch nicht mehr so einfach als Maß für eine Elektronen-„Festigkeit“ schlechthin gelten. Wir schalten aber die auf die Farbe gegründeten Bemerkungen gegen die Ansichten des Verfassers (§ 9) hier aus, da sie in der neueren Spezialarbeit zwar einerseits noch als Stütze für die homöopolare Natur der Säurereste angeführt, aber doch an anderer Stelle bereits hervorgehoben wird, daß man aus ihr nichts Sicheres darüber schließen könne. Beim Brechungsvermögen aber wird der Schluß auf den Polaritätscharakter noch aufrecht erhalten, und wir betrachten hier, ohne auf die theoretische Seite einzugehen, die in der neuen Arbeit gegebenen Zahlen. Für das unveränderte  $\text{O}^{--}$ -Ion wird ein Refraktionswert 7 angenommen, für die Teilnehmer an den Resten der Sauerstoffsäuren Werte wie die folgenden:

aus:	$\text{CO}_3^-$	$\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{ClO}_4^-$	$\text{CrO}_4^-$
	4,08	4,05	3,65	3,32	6,6

Aus dieser Veränderung der Nachgiebigkeit gegen die Felder des Lichtes wird geschlossen, daß die O-Atome keine Ionen mehr seien. Die als Stütze dafür angeführte Vermutung,  $\text{CO}_2$  das einen ebenso niederen Refraktionswert besitze, sei wegen seiner Flüchtigkeit homöopolar, ist stark anzuzweifeln. Man kann aber vor allem aus nicht zweifelhaften Fällen mittels der Fajansschen Schlußweise genau das Gegenteil herleiten. Für O in  $\text{BeO}$  und  $\text{MgO}$  nämlich finden sich die Refraktionswerte 3,2 und 4,2, also ebenso niedrige wie bei den Körpern, die eben deswegen als homöopolar erklärt wurden. Sie sollten es also ebenfalls sein, wenn diese Schlußweise irgend einen Wert hat, sind es aber nicht und auch Herr FAJANS nimmt bei ihnen  $\text{O}^{--}$ -Ionen an. Wir besitzen ja für  $\text{MgO}$  den unmittelbaren Beweis für das Vorhandensein von  $\text{Mg}^{++}$  und  $\text{O}^{--}$  durch Röntgenstrahlenstreuung. Der niedere Refraktionswert ist also kein Beweis für homöopolaren Charakter, die Fajanssche Schlußweise kann nicht einmal an dem von ihm selbst gegebenen Material konsequent durchgeführt werden, man könnte z. B. von den Werten für  $\text{BeO}$  und  $\text{MgO}$  aus darauf schließen, daß in den Anionen der Sauerstoffsäuren, auch im Molekül  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}^{--}$  als Ion vorhanden sein darf. So bleibt wohl nichts übrig, als sich an die bisher erkannten Zusammenhänge zu halten und die Ionen in den Anionen der Sauerstoffsäuren am Leben zu lassen. Von chemischen Zusammenhängen

abgesehen, spricht ja allein die Existenz der ultraroten Eigenschwingungen dieser Säurereste, die von CL. SCHAEFER studiert worden sind, stark für ihre Zusammensetzung aus Teilionen, und gerade eben ist es BRESTER in einer bei M. BORN durchgeführten Dissertation gelungen zu zeigen, daß die Zahl der für Sulfate beobachteten Eigenschwingungen mit der übereinstimmt, die in dem aus positivem, zentralem S und einem Tetraeder negativer O-Ionen bestehenden Sulfatanion theoretisch als Zahl der elektrisch wirksamen Eigenschwingungen zu erwarten ist.

Kiel, den 5. Juli 1924.

W. KOSSEL.

### Zur Seriendarstellung des Bleispektrums.

In einer früheren kurzen Mitteilung in den „Naturwissenschaften“<sup>1)</sup> wurde eine Seriendarstellung des Blei-Bogenspektrums vorgeschlagen, welche die Mehrzahl der Linien des Spektrums im optischen Gebiet umfaßte. Im besonderen wurde es versucht, zu zeigen, daß drei Spektraltermine mit gegenseitigen Unterschieden in Wellenzahlen von bzw. 10 810 und 2832 existierten, die solche Werte besaßen, daß man vermuten mußte, daß es  $p$ -Terme waren. Mit diesen drei  $p$ -Termen kombinierte eine einfache Reihe von  $s$ -Termen und eine dreifache Reihe von  $d$ -Termen. Abgesehen von den ersten Gliedern der drei  $d$ -Serien, welche sehr eigentümliche Kombinationsverhältnisse aufwiesen, kombinierte jeder der folgenden  $d$ -Terme mit jedem der drei  $p$ -Terme. Besonders war die Serie  $2 p_1 - m d_i$  sehr ins Auge fallend, indem man hier auf der photographischen Aufnahmen sofort sehen konnte, daß man mit einer Serie zu tun hatte, und es war leicht, die sechs ersten Glieder zu messen. Es war tatsächlich diese Serie, die zu der ganzen Seriendarstellung Anlaß gab und ihre Grundlage bildete. Wie auch in der Mitteilung bemerkt wurde, enthielt keine der Serien die Absorptionslinien des Bleis.

Unmittelbar darauf zeigte GROTRIAN<sup>2)3)</sup>, wie die starken Absorptionslinien in natürlicher Weise in das Seriensystem eingefügt werden konnten. GROTRIAN führte einen neuen Spektralterm von der Größe 59 826 ein, der den übrigen  $p$ -Termen gleichgestellt und also selbst ein  $p$ -Term war. Dieser Term kombinierte sowohl mit  $2 s$  wie mit  $3 d_2$  und stellte den Normalzustand des Atoms dar. Die Frage, welche jetzt in den Vordergrund trat, war, ob dieser neue Term auch mit den übrigen  $s$ - und  $d$ -Termen kombinierte; da aber alle entsprechenden Linien im Schumann-Gebiet liegen müßten, war es notwendig das Blei-Bogenspektrum im Vakuum zu photographieren.

Der verwendete Vakuumspektrograph war ein Gitterspektrograph von HILGER und die Lichtquelle eine Quarzbogenlampe, über deren Einrichtung an anderer Stelle näher berichtet wird. Sie wurde mit einer Spannung von 220 Volt und einer Stromstärke von 7–8 Ampere betrieben. Diese Bogenlampe lieferte ein intensives Licht und gab mit einer Expositionsdauer von etwa einer Stunde ein in allen Einzelheiten gutes Bild. Der Spektrograph wurde mit zwei in Reihe verbundenen Ölpumpen bis zu einem Druck von etwa  $\frac{1}{100}$  Millimeter Quecksilber entleert.

Die photographischen Aufnahmen zeigten mehrere interessante Einzelheiten. Das Bleispektrum enthält ca. 25 Linien im Gebiet  $\lambda$  2000 Å.-E. bis  $\lambda$  1300 Å.-E., deren Aussehen mit dem Druck im Bogen etwas variiert. So zeigte sich, daß ein von den früher beobachteten

Tripletten,  $\lambda$  2697, 2088, 1973 Å.-E., dessen Linien zu den wenigen starken Linien gehörten, die sich nicht im Serienschema einordnen ließen, bei niedrigem Dampfdruck nicht auftreten, sondern nur bei höherem Dampfdruck erscheinen. Außerdem ging es aus der Ausmessung der Platten hervor, daß sämtliche Kombinationen des Grotrianschen  $p_4$ -Gliedes mit den  $d_1$ -Termen vorhanden waren, mit Ausschließung der Kombination mit dem ersten dieser Terme. Diese Linien haben dasselbe Aussehen, treten unter denselben Bedingungen auf und zeigen die zu erwartenden Intensitätsverhältnisse. Weiter wurden mehrere Linien beobachtet, die als Kombinationen von  $2 p_4$  mit den  $s$ -Termen zu deuten sind. Es sei noch bemerkt, daß die früher gefundenen Serienlinien alle im Vakuumlichtbogen wiedergefunden wurden.

Die folgende Tabelle enthält die Bleilinen im Gebiet von  $\lambda$  2100 Å.-E. bis  $\lambda$  1550 Å.-E. Mehrere von diesen sind schon früher angegeben worden in den Arbeiten von SAUNDERS<sup>1)</sup>, von McLENNAN<sup>2)</sup> und von BLOCH<sup>3)</sup>. Die neu gefundenen Linien sind mit einem Stern bezeichnet.

Tabelle der Bleilinen im Gebiet  $\lambda$  2100 –  $\lambda$  1550.

$\lambda$	$\nu$	$I$	Bezeichnung	Bemerkungen
2104,0	47529	1	$2 p_2 - 8 s$	
*2095,0	733	2		
87,9	895	8		verschwindet bei niedrigem Dampfdrucke.
59,8	48548	10		diffus; verschwindet bei niedrigem Dampfdrucke.
53,4	700	4	$2 p_4 - 3 s$	scharf.
51,3	750	3	$2 p_3 - 6 d_2$	
49,2	800	2	$2 p_3 - 6 d_1$	
*35,8	49121	1	$2 p_3 - 6 s$	
22,1	454	4		
14,8	633	4	$2 p_3 - 7 d_2$	diffus.
*05,5	863	1	$2 p_3 - 7 s$	
1972,0	50710	6		verschwindet bei niedrigem Dampfdrucke.
*30,6	51797	2		verschwindet bei hohem Dampfdrucke.
24,2	970	2		
08,3	52403	4		sehr diffus.
04,3	513	5	$2 p_4 - 4 d_1$	
1898,1	684	5		
68,2	53527	3	$2 p_4 - 4 s$	scharf.
21,6	54897	10		
*12,6	55169	4	$2 p_4 - 5 d_1$	
*05,6	383	1		
1796,1	676	7		
*75,8	56313	1		
*66,3	616	3	$2 p_4 - 6 d_1$	
*39,7	57481	2	$2 p_4 - 7 d_1$	
26,2	931	8		
*23,0	58038	1	$2 p_4 - 8 d_1$	
1682,0	59453	7		
71,3	834	7		
1554,8	64317	4		

Es braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden, daß angesichts der Unvollständigkeit des Schemas Bezeichnungen wie Triplette,  $s$ -,  $p$ - und  $d$ -Terme usw. nur als vorläufig anzusehen sind.

Kopenhagen, den 16. Juli 1924.

Universitetets Institut for teoretisk Fysik  
V. THORSEN.

1) Naturwissenschaften II, 78. 1923.

2) Naturwissenschaften II, 255. 1923.

3) Zeitschr. f. Phys. 18, 169. 1923.

1) Astrophys. Journ. 43, 240. 1916.

2) Proc. Roy. Soc. 98, 95. 1920.

3) Journ. de Phys. 8, 1921.

### Zum Zerfall des Quecksilberatoms.

Die Veröffentlichung „Der Zerfall des Quecksilberatoms“ von Herrn Professor Dr. A. MIETHE (Naturwissenschaften Nr. 29) veranlaßt mich, einige Beobachtungen mitzuteilen, die ich seinerzeit bei meinen Arbeiten am Quecksilberhochspannungsgleichrichter in den Jahren 1914—1916 im Elektrochemischen Institut der Technischen Hochschule Hannover gemacht habe.

Ich beschäftigte mich damals mit dem Problem, Quecksilbergleichrichter für hohe Wechselstromspannung (50—100 000 Volt) so herzustellen, daß sie, von der Pumpe abgeschmolzen, eine brauchbare Lebensdauer aufwiesen. Trotz den sorgfältigsten Arbeiten war es jedoch nicht möglich, Quecksilbergleichrichter für eine derartige Beanspruchung herzustellen. Sie arbeiteten nur, solange sie sich an der Pumpe befanden, einwandfrei. Als Anodenmaterial verwandte ich gut ausgeglühte Wolframdrähte; als Elektronenerreger diente ein kleiner mit Gleichstrom von einer isolierten Stromquelle betriebener Quecksilberlichtbogen. Vor dem Hineindestillieren des Quecksilbers wurde der Gleichrichter während 6—8 Stunden auf einer Temperatur von 400—410° Celsius gehalten, um auch die Glasteile energisch zu entgasen. Die benötigte Quecksilbermenge ließ ich während mindestens 24 Stunden durch einen elektrischen Lichtbogen verdampfen und nach deren Kondensierung wieder in den Lichtbogen zurückfließen, während welcher Zeit dauernd gepumpt wurde. Als Pumpe verwandte ich eine Gaedesche Diffusionspumpe, als Vorvakuumpumpe diente eine Töplerische Quecksilberpumpe. Zum Messen des Druckes verwandte ich ein Mac-Leod-Manometer von Leybold mit 500 ccm Meßkugelinhalt. Betrieb ich einen so hergestellten Quecksilbergleichrichter mit Gleichstrom (2 Amp.), selbst wenn die Ventilanode (Wolframanode)

so stark belastet wurde, daß sie weißglühend war, so konnte eine Gasabgabe nicht festgestellt werden. Das Mac-Leod zeigte Klebevakuüm. Sobald ich dagegen den Gleichrichter mit Wechselstrom von 50—70 000 Volt und 0,01 Amp. betrieb, zeigte das Mac-Leod-Manometer stets einen Druck von 0,00002 mm an. Dieser Druck stieg oder fiel, je nachdem ich den Gleichrichter stärker oder schwächer mit Hochspannung belastete. Ich hatte schon damals bei einem Gespräch mit Herrn Professor Dr. BODENSTEIN die Vermutung ausgesprochen, daß die dauernde Gasabgabe von der Zerstörung des Quecksilberatoms herrühren könnte. An eine solche Möglichkeit war damals ernstlich nicht zu denken, darum unterließ ich eine diesbezügliche Veröffentlichung. Ich versuchte auch das entwickelte Gas zu sammeln, aufzufangen und spektroskopisch zu untersuchen. Leider stand mir zu letzterem Zwecke nur ein kleines Handspektroskop zur Verfügung, welches mir nicht viel zeigen konnte. Ich konnte nur einwandfrei Wasserstoff feststellen; andere Linien festzustellen war schwer wegen den ebenfalls anwesenden Quecksilberlinien.

Da eine Nachfrage nach derartigen Gleichrichtern war, blieb mir zuletzt nichts anderes übrig, als eine Pumpe zu konstruieren, die automatisch das erforderliche hohe Vakuum aufrecht erhielt und dauernd mit dem Quecksilbergleichrichter verbunden blieb. Eine derartige Pumpe ist in der Zeitschr. f. techn. Physik von Dr. LAUSTER und mir (Heft 10, S. 392, Jahrg. 1923) beschrieben. Zum Schluß bemerke ich, daß ich ebenfalls im Laufe der Zeit ein starkes Verschmieren des Quecksilbers beobachtet hatte, führte dieses jedoch auf eine Vermengung mit dem feinst zerstäubten Wolframmetall zurück. Die Rückstände aus derartigen Gleichrichtern habe ich infolgedessen nicht weiter untersucht.

Hannover, 22. Juli 1924.

H. LOOSLI.

### Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

#### Der „gebundene“ Zucker des Blutes (Sucre virtuel).

Bereits seit Jahrzehnten wird von LÉPINE und seiner Schule die Ansicht vertreten, daß neben dem gewöhnlichen Blutzucker, dessen normale Konzentration von ca. 0,1%, beim Gesunden wenigstens, mit einer bemerkenswerten Konstanz vermöge äußerst feiner Regulationsvorrichtungen festgehalten wird, noch ein Zucker in gebundener Form vorhanden sei. Diese mit den gewöhnlichen Reduktionsmethoden nicht nachweisbare Form des Zuckers wurde von den französischen Autoren als *Sucre virtuel* bezeichnet, weil sie erst nach Anwendung mehr oder weniger eingreifender biochemischer Reaktionen in Erscheinung tritt. Je nach der Leichtigkeit, mit der sich eine Abspaltung des *Sucre virtuel* bewerkstelligen läßt, wurden vier verschiedene Fraktionen dieses gebundenen Zuckers unterschieden. Bei einigen Stoffwechselstörungen, besonders bei der Zuckerkrankheit, dem Diabetes mellitus, soll sich auch das Verhältnis zwischen dem „freien“ und dem „gebundenen“ Blutzucker ändern, wie überhaupt dieser Zuckerfraktion eine Reihe biochemisch und pathochemisch interessanter Funktionen zugeschrieben wurde. Von deutscher und englischer Seite wurden diese Befunde LÉPINES meist nicht bestätigt, seine Schlußfolgerungen ziemlich einhellig verworfen. Man hatte sich, wie man glaubte, endgültig für die Auffassung entschieden, daß der Zucker nur in einer bestimmten, einheitlichen und einfachen Form, nämlich als gewöhnlicher Traubenzucker, im Blute kreise, dessen Menge zwar quantitativ beträchtlich schwanken

kann, besonders unter pathologischen Bedingungen, der aber qualitativ immer nur als Traubenzucker erscheine, und auch allein in dieser Form mengenmäßig zu bestimmen sei.

Diese einfache Auffassung hat allerdings gerade in den letzten Jahren recht schwere Angriffe zu überstehen gehabt, denen gegenüber sie sich zwar vorläufig noch zu behaupten scheint, aber die Frage nach der Natur des Blutzuckers ist erneut lebhaft in den Fluß gekommen. Damit ergibt sich von selbst, daß auch der „*Sucre virtuel*“ wieder in den Kreis experimenteller Prüfungen gerückt ist. Erleichtert und z. T. erst ermöglicht werden alle nach dieser Richtung hin strebenden Arbeiten dadurch, daß die Methoden zur genauen quantitativen Bestimmung des Zuckers im Blute in den letzten Jahren wesentlich vervollkommen und vereinfacht worden sind, so daß die Anwendung dieser Mikromethoden größere Reihenuntersuchungen gestattet.

Von dem italienischen Autor CONDERELLI ist kürzlich im „Policlinico“ eine beachtenswerte Arbeit erschienen, welche die Befunde LÉPINES mit den neuen Methoden nachprüfte und zu dem Ergebnis kommt, daß bereits normalerweise neben dem gewöhnlichen Zucker ein erst durch Säurehydrolyse abspaltbarer „gebundener“ Zucker im Blute vorhanden sei, der an Menge etwa 40% des „freien“ Zuckers beträgt. Werden per os 20 g Traubenzucker gegeben, so zeigt sich der bekannte Anstieg des „freien“ Zuckers, woran der „gebundene“ Zucker keinen Anteil nimmt. Ähnlich

wirkt Adrenalin und Hypophysin. Die Glykolyse, d. h. das Verschwinden des Zuckers aus dem Blute bei längerem Stehen auch unter aseptischen Bedingungen, erstreckt sich nur auf den freien Zucker, der sich hierbei möglicherweise z. T. in gebundenen Zucker umlagert. Da der gebundene Zucker nicht aus dem gewöhnlichen Eiweiß des Blutes stammen könne, wird eine als Reserve aufgefaßte *lockere Verbindung zwischen Eiweiß und Traubenzucker* als Quelle des „Sucre virtuel“ angenommen.

Daß eine reversible Anlagerung von Zucker an *Phosphorsäure*, wie sie bei der Umwandlung von Kohlehydraten sowohl für die Hefezelle, wie für die quer-gestreifte Muskulatur nachgewiesen ist, möglicherweise auch im Blute stattfindet, wird als Erklärungsmöglichkeit *nicht* herangezogen, obwohl hierfür bereits einige der allerjüngsten Befunde deutscher, englischer und amerikanischer Autoren zu sprechen scheinen. Hiermit wäre nicht nur die Frage des „Sucre virtuel“, sondern auch eine große Reihe anderer Probleme des normalen und pathologischen Blutzuckers auf eine ganz neue Grundlage gestellt. (Aus den Berichten über die ges. Physiol.).

FRITZ LAQUER.

**Note on Kammerers experiments with *Ciona* concerning the inheritance of an acquired character.** (H. M. FOX, Journ. of genetics 14, 89—91. 1924). KAMMERER gab 1914 an, daß Individuen der Seescheide *Ciona intestinalis*, denen man die Siphonen abgeschnitten hat, neue von übernormaler Länge regenerieren. Entfernt man diesen Tieren auch die Keimdrüse, so entsteht bald eine neue, und auch die aus den regenerierten Keimstock erzogene Nachkommenschaft soll Siphonen von übernormaler Länge besitzen. FOX kann auf Grund von Untersuchungen, die an Cionen in den Aquarien von ROSCOFF angestellt wurden, schon die Grundfeststellung KAMMERERS *nicht* bestätigen. Der orale Siphon wurde bei 59 Individuen (0,9—4,8 cm Länge) einmal, bei 35 zweimal, bei 8 dreimal amputiert. Nachdem die Regeneration bis zur ursprünglichen Größe des alten Siphos fortgeschritten war, beobachtete FOX bis zu 61 Tagen weiter, ohne doch eine weitere Längenzunahme der neuen Siphonen feststellen zu können; das Längenverhältnis Siphon zu Körper blieb dasselbe wie bei den nichtoperierten Aquariumstieren, wie auch denen der freien See. Bei 14 Tieren, die die Amputation beider Siphonen überlebten, wurden die neuen Siphonen ebenfalls nicht länger als die ursprünglichen. — Wie schon früher von FOX beschrieben und hier mit Abbildungen belegt wurde, verlängern sich nun die Siphonen, wenn man *Ciona* aus dem von der zirkulierenden Seewasserleitung gespeisten Aquarium in Behälter mit stehendem Seewasser bringt und dort reichlich Algen zusetzt. Kontrollversuche ergaben, daß weder die veränderte Wasserstoffionenkonzentration, noch das Fehlen der Strömung, sondern ausschließlich die bessere Nahrung die Verlängerung bewirkte. Es liegt nahe anzunehmen, daß KAMMERERS Befunde auf die Nichtbeachtung dieses Umstandes zurückzuführen sind (Kontrolltiere im Aquarium; Versuchstiere, sowohl die operierten, wie auch ihre Nachkommen, im kleinen Behälter bei besserer Nahrung) und daher für die Frage nach der Vererbung erworbener Eigenschaften nicht in Betracht kommen.

O. KOEHLER.

**On the appearance of gas in the tracheae of insects.** (D. KEILIN, Proceedings of the Cambridge philosophical society, biological sciences 1, 63—70. 1924). Wenn ein Wasserinsekt mit geschlossenem Tracheensystem ohne Stigmen aus dem Ei oder bei der Häutung

aus der alten Larvenhaut schlüpft, so scheinen stets die Tracheen mit Flüssigkeit gefüllt zu sein. Wie kommt nun erstmals die Gasfüllung des Systems zustande? Wie schon mehrfach beobachtet wurde, pflegt an einer für die Species konstanten Stelle des Tracheensystems plötzlich eine Gasblase aufzutreten, bei der Corethralarve beispielsweise hinter den hinteren Tracheenblasen im elften Körpersegment, die nun rasch an Größe zunimmt und nach beiden Seiten die Flüssigkeitssäule vor sich herdrängt. Verfasser beobachtete die im Wundsaft von Bäumen lebende Larve von *Dasyhelea obscura* (Zuckmücken, Ceratopogoninae). Hier tritt die erste Gasblase in der großen Tracheengabel im ersten Thoracalsegment auf. Sogleich vergrößert sie sich und treibt rasch und stetig die Flüssigkeit allseitig vor sich her, bis nach weniger als nur einer Minute selbst die feinsten intracellulären Ausläufer des Tracheensystems mit Gas gefüllt sind.

Verfasser erörtert die beiden älteren Theorien zur Erklärung des Vorgangs, welche beide nicht befriedigen können: die Sekretionstheorie, der zufolge Körperzellen, besonders wohl Zellen der Tracheentima, das Gas sezernieren sollten, ähnlich wie in der Schwimmblase der Fische; andererseits die rein physikalische Diffusionstheorie, die hier bestimmt versagt (vgl. WINTERSTEIN, *Atmung* S. 120 letzter Abschnitt). Er entscheidet sich für eine Deutung, die schon 1895 durch MIALL in einem fast entscheidenden Punkte angedeutet wurde. Er läßt nämlich die Gewebszellen, in deren Innerem die letzten und feinsten Tracheenverästelungen endigen, die das Tracheensystem ursprünglich erfüllende Flüssigkeit an sich reißen, sei es infolge chemischer absorbierender Kräfte, sei es im Sinne kolloidaler Plasmaquellung. So wird die schon von MIALL postulierte *Saugwirkung* auf die Flüssigkeit im Tracheensystem ausgeübt, und da die Tracheen genügende Festigkeit besitzen, um normalen Wasserdrücken standzuhalten, so reißt die Flüssigkeitssäule, und es entsteht ein Vacuum, in welches nun sofort die Blutgase hineindiffundieren. So läßt sich der Vorgang der ersten Füllung des geschlossenen Tracheensystems stigmenloser Wasserinsekten mit dem bekannten, dem Mikroskopiker so lästigen Schwarzwerden schwerdurchlässiger Objekte beim Übergang in dicke Medien vergleichen (Überführung von ganzen Nematoden, Wurmeiern, Insekten aus Xylol in Canada-balsam): Das Xylol diffundiert leicht aus den Hohlräumen des Objektes hinaus in den Balsam, der Balsam aber nicht hinein; so entsteht ein Vacuum; das gehärtete Objekt hält den Atmosphärendruck aus, und so reißt das Vacuum die in den umgebenden Medien enthaltenen Gase und Dämpfe an sich, die natürlich die Durchsichtigkeit des Objektes zerstören.

O. KOEHLER.

**Atomarten und ihr Vorkommen auf der Erde.** (F. W. ASTON, mit 1 Figur, Nature 15. März.) Trägt man in einem Diagramm die auf der Erde schätzungsweise vorhandenen Mengen der Elemente bis zum Atomgewicht 90 — und zwar nach Isotopen getrennt — gegen die Isotopengewichte auf, so erhält man eine Kurve, die zunächst keine Gesetzmäßigkeiten zu zeigen scheint; aber bei näherem Zusehen ergibt sich die merkwürdige Tatsache, daß die Mengenschwankungen zwischen den einzelnen Isotopen eines Elementes und die zwischen den Elementen untereinander sich wie etwa 1 : 10<sup>12</sup> verhalten. Nimmt man nun an, daß die naturgemäß noch vorhandene Unvollständigkeit unserer experimentellen Kenntnisse das Bild nicht grundsätzlich verzerren — und Verfasser würde das für un-

wahrscheinlich halten, — so muß man den Grund in einer gemeinsamen Stabilitätseigenschaft aller Isotope eines Elementes suchen. Verfasser stellt nun die Hypothese auf, daß alle Isotope eines Elementes einen inneren Kern gleicher Struktur gemeinsam besitzen, der wesentlich die Stabilität bestimmt, und daß die Isotopen sich nur durch die Anordnung der äußeren Kernteile unterscheiden, die nur geringen Einfluß auf die Stabilität besitzen sollen. So würde auch die experimentelle Tatsache erklärlich, daß die vielen Isotope des Zinn und Xenon zwar je unter sich völlig ganzzahlige Massenverhältnisse zeigen, aber das Verhältnis eines Zinn-Isotopen zu einem Xenon-Isotopen nicht ganzzahlig ist. Zur Prüfung dieser Hypothese stellt der Verfasser weitere Massenuntersuchungen in Aussicht.

**Induzierte Asymmetrie ungesättigter Radikale in optisch aktiven Verbindungen.** (T. MARTIN LOWRY und E. E. WALKER: Nature 9. April). Absorptionsbanden organischer Verbindungen im Sichtbaren stammen meist von den chromophoren Eigenschaften gewisser ungesättigter Gruppen mit Elektronen niedriger Absorptionsfrequenzen. Optische Aktivität dagegen schreibt die moderne Physik besonderen asymmetrisch gebundenen Elektronen zu; beide Effekte sind also im allgemeinen voneinander unabhängig. Nun gibt es aber Fälle, in denen die Rotationsdispersion wesentlich abhängt von den Absorptionsstreifen der chromophoren Gruppen. Gewöhnlich erklärt man das so, daß man sagt: Die optische Aktivität stammt aus dem asymmetrischen Molekül in seiner Gesamtheit und wird daher auch unter dem Einfluß der Schwingungen stehen, die den einzelnen Gruppen eigen sind, die das Molekül bilden. Diese Erklärung wird aber den modernen Ansichten über den Ursprung der Rotation nicht gerecht, da hierfür immer nur bestimmte Elektronen in Betracht kommen sollen. Die Verf. stellen sich daher auf den entgegengesetzten Standpunkt, zu dem sie sowohl aus experimentellen wie aus theoretischen Gründen gekommen sind: Nicht die optische Aktivität wird durch die Eigenschwingungen beeinflusst, sondern in diesen Gruppen kann eine „induzierte Asymmetrie“ entstehen, die bei genügend fester Koppelung mit einem asymmetrischen Komplex selbst optisch aktiv werden kann. Es wird daher in den Rotationsdispersionsgleichungen der Teil, der die Absorptionsfrequenz enthält, direkt den Beitrag der chromophoren Gruppe zur Rotation wiedergeben.

**Das kontinuierliche Wasserstoffspektrum.** Durch einen Brief von HARVEY B. LEMON in Nature vom 26. Januar veranlaßt, geben FRANK HORTON und ANNE C. DAVIES in Nature vom 23. Februar ihrerseits einen Bericht über ihre Beobachtungen am kontinuierlichen Wasserstoffspektrum. Sie verfolgen die Abhängigkeit des Spektrums von der angelegten Spannung (d. h. der Energie, die die Glühelektronen der Kathode erhalten) und beobachten, daß, während die Balmerserie und das Viellinienspektrum erst von 15,9 Volt (das entspricht dem Übergang  $H_2 \rightarrow H + H^+ + \text{Elektron}$ ) an auftreten, das kontinuierliche Spektrum schon von 13,5 Volt ( $H \rightarrow H^+ + \text{Elektron}$ )

an sichtbar wird. Die Verfasser meinen aber, daß die zum Erregen des Spektrums notwendige Spannung nicht 13,5 Volt sei, da das Auftreten nicht von Ionisation begleitet ist, sondern 12,6 Volt, d. h. die niedrigste Spannung bei der Dissoziation mit Anregung eines Atoms beobachtet wird. Das Spektrum würde dann bei der Wiedervereinigung zweier neutraler Atome ausgesandt werden.

Hierzu bemerkt LEMON in Nature vom 19. April, daß er seine früher beschriebenen Versuche in Abhängigkeit von der Spannung, statt von der Glühdrahttemperatur wiederholt habe und dabei eine Bestätigung der Horton-Daviesschen Auffassung gefunden habe. Nur die oben beschriebene spezielle Zuordnung zwischen Anregung des kontinuierlichen Spektrums und Molekülprozeß möchte er nicht vorbehaltlos annehmen.

**Die Isotopen des Quecksilbers und Wismuts als Ursache für die Aufspaltung ihrer Spektrallinien und Die Bindung der Elektronen im Kern des Quecksilberatoms** (H. NAGAOKA, Y. SUGIURA und T. MISHIMA: Nature 29. März und 19. April). Die Verf. haben möglichst genau die Struktur verschiedener Quecksilber- und Wismutlinien untersucht, um einen Einblick in den Bau dieser Atome zu erhalten. Zu exakten Resultaten gelangten sie bei der Untersuchung mittels der Lummer-Gehrcke-Platte der Resonanzlinie einer hochevakuierten Quecksilberlampe, die sie durch eine Kältemischung kühlten. Sie konnten die Lage von 22 Nebenlinien dieser Linie feststellen. Ultraviolette Linien des Wismuts wurden durch Kathodenstrahlen erregt.

Die Verf. meinen aus der Stellung dieser beiden Elemente im periodischen System darauf schließen zu können, daß sie ein ähnlich metastabiles Kerngefüge haben, wie die radioaktiven Elemente. Sie nehmen nun an, daß ein Wasserstoffkern sich außerhalb des übrigen Kernes unter quasielastischer Bindung bewegt. Für dieses System berechnen sie den Isotopeneffekt ebenso, wie es von KRATZER für Chlorwasserstoff geschehen ist; während die Wellenlängen selbst nicht berechenbar sind, läßt sich die relative Wellenlängendifferenz leicht angeben. Zwischen den gefundenen und berechneten Linienabständen wird im allgemeinen gute Übereinstimmung gefunden.

Im Falle der Linie 3131,84 des Quecksilbers sind aber die gefundenen Differenzen alle zu klein. Die Verf. machen hierfür eine andere Kernstruktur verantwortlich. Davon ausgehend, daß man, um Gleichgewicht zu erreichen, außer den Coulombschen Kräften noch Kräfte, die sich mit höheren Potenzen des Abstandes ändern und umgekehrtes Vorzeichen besitzen, als zwischen den Kernbestandteilen wirksam annehmen muß, machen sie die Annahme, daß alle positiven Bestandteile in einem positiven und alle Elektronen in einem negativen Teil vereinigt seien. Auch für diesen Fall lassen sich die zu erwartenden relativen Wellenlängendifferenzen leicht berechnen, und zwar werden sie durch die Meßresultate befriedigt. Da bisher nur eine derartige Linie gefunden ist, ist das noch kein endgültiger Beweis für die Möglichkeit dieser Zusammenballung der Elektronen im Kern. v. SIMSON.