
 BERICHTE

Hundert Jahre Planet Neptun

Als Nikolaus Kopernikus vor mehr als 400 Jahren die Erneuerung des astronomischen Weltbildes verkündete, waren außer den Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn keine weiteren Körper des Sonnensystems bekannt. Auch Kepler und Newton ahnten später nichts von Welten jenseits der Saturnbahn. So blieb es Wilhelm Herschel vorbehalten, am 13. März 1781 einen neuen Wandelstern aufzufinden, der den Namen Uranus erhielt. Seine Helligkeit lag für das unbewaffnete Auge hart an der Grenze der Sichtbarkeit; denn die klare Unterscheidung von einem Fixstern erforderte bereits eine hundertfache Vergrößerung. Später wurden mehrere ältere Beobachtungen des Uranus bekannt, in denen er als Fixstern identifiziert war, und die bis zum Jahre 1690 zurückreichten. Die Kenntnis dieser Aufzeichnungen war für die Berechnung der Bahnverhältnisse des Planeten von größtem Wert. Ihre Berücksichtigung erwies sich aber dennoch als verhängnisvoll, als der französische Astronom Alexis Bouvard im Jahr 1821 die Bearbeitung neuer Uranustafeln in Angriff nahm und dabei den merkwürdigen Umstand erkannte, daß die auf Grund neuerer Beobachtungen gefundene Bahn zu den aus älteren Ortsbestimmungen hergeleiteten Verhältnissen in schwerwiegende Widersprüche geriet.

Aus jenem Zweifel fand sich zunächst kein Ausweg, so daß Bouvard nur den nach 1781 angestellten Beobachtungen volles Gewicht beilegte, indem er vorsichtig hinzufügte: „Ich überlasse es der Zukunft, zu entscheiden, ob die Schwierigkeit, beide Gruppen von Beobachtungen miteinander in Einklang zu bringen, in der Ungenauigkeit der früheren Wahrnehmungen ihren Grund hat, oder ob sie als Folge einer fremden und noch unbekanntem Wirkung, der der Planet ausgesetzt gewesen sei, angesehen werden muß.“ Wenige Jahre später zeigte Uranus von Bouvards Tafeln abermals erhebliche Abweichungen. So war der Fehler 1830 auf 20", 1840 auf 90" und 1844 sogar auf 120" angestiegen, ohne daß die Ursache dieser merkwürdigen Bahnstörung erkennbar wurde. Es war eine ungemein schwie-

rige Aufgabe, die zusammengefaßte anziehende Wirkung aller Planeten auf die Uranusbewegung umfassend zu ermitteln und mit der Theorie in befriedigender Übereinstimmung zu halten, zumal dabei von vornherein nicht ohne weiteres feststand, ob nicht das eine oder andere Glied unberücksichtigt geblieben war. Erst als in diesem Sinne alle Möglichkeiten erwogen und geprüft waren und kein Zweifel mehr denkbar erschien, daß die Ursache der Uranusstörungen außerhalb der in der Theorie berücksichtigten Kräfte liegen müsse, begann sich die Überzeugung durchzusetzen, daß nur ein transuranischer, noch unbekannter Planet als die wahre Quelle der Bahnschwankungen in Betracht gezogen werden könne.

Als erster Astronom scheint Fr. W. Bessel diesem Geheimnis in besagtem Sinne auf der Spur gewesen zu sein, als er 1823 in einem Brief an W. Olbers auf die Uranusstörungen bezügliche Untersuchungen in Aussicht stellte, die „zu der schönsten Bereicherung der Wissenschaft“ führen sollten. Leider blieb ihm nicht die Zeit, seine Untersuchung zu vollenden. Und als später sein Schüler Fleming die Fortführung der Reduktionen aller erreichbaren Uranusbeobachtungen übernahm, machte dessen plötzlicher Tod (1840) die Gewinnung endgültiger Ergebnisse abermals zunichte. Trotzdem hat Bessel an seiner Überzeugung vom Dasein eines noch unbekanntem Planeten dauernd festgehalten, wie besonders aus einer 1840 gehaltenen Vorlesung hervorgeht. Von fast prophetischem Weitblick zeugen indessen die im gleichen Jahre von J. H. Mädler niedergeschriebenen Worte, „daß die Analysis einst den höchsten ihrer Triumphe feiern und dadurch ihr geistiges Auge Entdeckungen in Regionen machen werde, in die das körperliche bis dahin einzudringen nicht vermochte“. Noch eindringlicher hat derselbe Astronom 1846 seine Gedanken zu folgenden Worten zusammengefaßt: „Der Analytiker wird dem Astronomen das Fernrohr richten und ihn den noch unbekanntem Planeten finden lehren; aber auch wenn dieses nicht gelänge, wird er seiner Sache gewiß sein.“ Damit war die der Wissenschaft gestellte Aufgabe

klar umrissen, die zweifellos einmalig in ihrer Art war, handelte es sich doch darum, aus der sinngemäßen Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die Planetenbewegungen nach strengen mathematischen Disziplinen den Schluß zu ziehen auf das Dasein eines noch unsichtbaren Planeten, auf die Vorausbestimmung seines Ortes am Himmel, seiner Masse, Bahn und Entfernung.

Damals lebte in Paris der junge Astronom U. J. J. Le Verrier, der sich durch seine Untersuchungen über die säkulare Änderung der Bahnelemente der sieben Hauptplaneten (1839) und eine verbesserte Theorie der Merkurbewegung (1843) bereits einen Namen gemacht hatte. Diese Erfolge nahm der Direktor der Pariser Sternwarte, D. F. J. Arago, zum Anlaß, Le Verrier die Neubearbeitung der Uranusstörungen zu übertragen. Bereits am 10. November 1845 legte der gewandte Rechner der Pariser Akademie seinen ersten Bericht vor, der auf Beobachtungen aus dem Zeitraum 1690—1845 beruhte; am 1. Juni 1846 folgte die zweite und am 31. August 1846 die dritte Abhandlung, worin die Resultate jener mühevollen Untersuchungen in äußerst scharfsinnigen Kombinationen klar zutage traten und für den 1. Januar 1847 sowohl den Ort des vermuteten Gestirns, seine heliozentrische Länge ($318^{\circ} 47'$), die Umlaufzeit (von Le Verrier mit 217,4 Jahren angenommen) und die Masse ($1/9322$ Sonnenmassen) zu bestimmen gestatteten. Merkwürdigerweise sind keine Nachrichten bekannt, daß auf Grund dieser Berechnungen irgendwo der Versuch gemacht worden wäre, den Störnfried am Himmel aufzufinden. Das mag uns heute verwunderlich stimmen, allein es kann dafür weniger der Mangel an ausreichenden Fernrohren als vor allem das Fehlen geeigneter Sternkarten verantwortlich gemacht werden.

Dann geschah etwas recht Merkwürdiges: Le Verrier machte am 18. September 1846 dem Berliner Astronomen J. G. Galle gelegentlich einer Danksagung für eine ihm im Jahre zuvor zugesandte Arbeit von seinen theoretischen Ergebnissen Mitteilung und bat ihn, mit Hilfe des vorzüglichen 9"-Fraunhoferschen Refraktors der Berliner Sternwarte nach dem errechneten Weltkörper Ausschau zu halten. Dieser Brief traf am 23. September 1846 in Berlin ein. Die allgemeine Situation war in diesem Augenblick wenig vertrauenerweckend, zumal der Direktor J. F. Encke noch kurz zuvor die Rechnungen

Le Verriers als unsichere Spekulation abgetan hatte. Dennoch hielt Galle sich für verpflichtet, Nachforschungen nach dem Planeten anzustellen. Noch am gleichen Abend nahm er (in Gemeinschaft mit dem Studenten d'Arrest) die erforderlichen Beobachtungen im Grenzgebiet der Sternbilder Wassermann und Steinbock vor. Zunächst zeigte sich aber kein Stern, der sich sofort als Planet identifizieren ließ. Erst nachdem ein Stück der Akademischen Sternkarten mit dem Ausschnitt der betreffenden Himmelsgegend, wie sie zu der Zeit auf Veranlassung Bessels von der Berliner Akademie herausgegeben wurden, herbeigeschafft werden konnte, fand sich ein Stern der 8. Größenklasse, der auf dem Kartenblatt fehlte. Die weiteren Beobachtungen in der fraglichen Nacht, an denen auch Encke Anteil nahm, haben dann keinen Zweifel daran gelassen, daß jenes Sternchen der gesuchte Planet war. Das Gestirn hatte am 23. September 1846 im heliozentrischen Koordinatennetz eine Länge von $325^{\circ} 53'$. Es stand also nur 1° von dem auf diesen Tag reduzierten Ort Le Verriers ($324^{\circ} 58'$) entfernt, so daß Galle schon am 25. September dem geistigen Entdecker Le Verrier berichten konnte: „La planète, dont vous avez signalé la position, existe réellement!“ — Encke schrieb am folgenden Tage an H. C. Schumacher in Altona, den Herausgeber der Astronomischen Nachrichten: „Es ist dies die glänzendste unter allen Planetenentdeckungen, weil rein theoretische Untersuchungen Herrn Le Verriers die Existenz und den Ort eines neuen Planeten haben voraussagen lassen.“ So kam es, daß Le Verrier der Pariser Akademie schon am 5. Oktober 1846 zusammen mit verbesserten Rechnungen die beglückende Kunde von der Entdeckung seines Planeten vorlegen konnte. Dieser Planet erhielt nach einigen Diskussionen schließlich den Namen Neptun. Damit war eine der größten Ruhmestaten der Astronomie vollbracht, in der „menschliche Geistesarbeit ihren größten Triumph feierte“, indem sie hinausgriff in die Welt des Unsichtbaren und mit unerhörter Kühnheit eine bis dahin unbekannte Welt in das helle Licht des Tages rückte. Ein Sturm der Begeisterung und Bewunderung ging durch die Welt, bis kleinliche Autoritäts- und Prioritätszwistigkeiten, in die sich Zweifel, Unentschlossenheit und Eitelkeit mischten, die Größe jener Leistungen zu verzerren drohten.

Kurz bevor Le Verrier in Paris seine ent-

scheidenden Rechnungen in Angriff nahm, hatte sich nämlich der englische Student J. C. Adams in Cambridge auf Anregungen von G. B. Airy in Greenwich hin demselben Problem zugewandt. Nach Auswertung des reichen Schatzes der Greenwicher Uranusbeobachtungen aus den Jahren 1754—1830 konnte er schon im Herbst 1845 eine in den Hauptpunkten abgeschlossene Untersuchung vorlegen. Airy sprach sich in einem Brief vom 5. November 1845 darüber sehr befriedigt aus. Er wünschte aber von Adams zu erfahren, ob durch die neue Theorie der große Fehler in den Abständen des Uranus von der Sonne, wie er durch die Bouvardschen Tafeln ausgewiesen wurde, beseitigt werden könne. Da Adams dazu schwieg, machte Airy von dem Recht einer Veröffentlichung der ihm vorgelegten Ergebnisse keinen Gebrauch. Inzwischen waren zwei Arbeiten von Le Verrier gedruckt worden, die in glänzender Weise die auf anderen Wegen erungenen Resultate Adams bestätigten. Als Airy jedoch auf die gleiche Frage, die er vorher auch an Adams gerichtet hatte, von Le Verrier unverzüglich eine befriedigende Antwort erhielt, veranlaßte er den Cambridger Astronomen Challis, mit dem großen Northumberland-Teleskop der dortigen Sternwarte eine Durchforschung des von der Theorie bezeichneten Himmelsfeldes vorzunehmen. Diese Beobachtungen begannen am 29. Juli 1846 nach einem systematisch angelegten Plan und umfaßten in zweimaliger Kontrolle innerhalb eines 30° langen und 10° breiten Streifens beiderseits der Ekliptik alle Sterne bis zur 11. Größenklasse. Würde Challis seine Beobachtungen laufend reduziert haben, wäre ihm ohne Zweifel die Palme der ersten Entdeckung des Planeten zugefallen; denn am 4. und 12. August wiesen seine Beobachtungen einen Stern aus, der sich später als der Le Verriersche Planet herausstellte. Aber noch bevor die Arbeit Adams der Öffentlichkeit bekannt wurde, brachte die Entdeckung Galle nach den Berechnungen von Le Verrier jene Episode zu einem ruhmvollen Abschluß. Zu bedauern bleibt dabei aber der Umstand, daß sich aus dem Gleichklang beider theoretischen Offenbarungen ein von Arago und Le Verrier einerseits und von Airy und Challis andererseits geschürter Meinungsstreit ergab, der die Größe der geistigen Leistung beider Rechner zuweilen zu verdunkeln drohte, den die Zeit am Ende aber dahin entschied, daß die Arbei-

ten Adams und Le Verriers für alle Zeiten die uneingeschränkte Bewunderung verdienen, obwohl der Ruhm der ersten bewußten optischen Wahrnehmung des Planeten für immer mit dem Namen Le Verriers verbunden bleiben wird, weil nur dessen Angaben zur Auffindung führten.

Zeit seines Lebens hat Le Verrier, der Arago 1853 im Direktorat der Sternwarte in Paris folgte, an der Verbesserung seiner Planetentafeln gearbeitet und mit demselben Geschick auch eine sehr genaue Bahnbestimmung des Neptun durchgeführt, die später von Newcomb erweitert wurde. Danach beträgt die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne 30,07 a. E. (= 4496 Mill. km). Seine siderische Umlaufzeit umfaßt 164,79 Jahre, die Exzentrizität seiner Bahn wurde zu 0,0085 und ihre Neigung gegen die Ekliptik mit $1^\circ 46' 40''$ gefunden. Im Laufe eines Jahres verändert Neptun seinen Ort am Himmel um 2° (das sind 4 Vollmonddurchmesser), so daß er sich 13 Jahre in einem Sternbild aufhält. Seine mittlere Oppositionshelligkeit liegt bei 7,68^m, und das Rückstrahlungsvermögen (Albedo) seiner Oberfläche erreicht mit 0,73 unter den Planeten einen Wert, der nur noch von dem Jupitermond II (= 0,76) und dem Saturnring B (= 0,8) überflügelt wird.

Im Fernrohr zeigt der Planet nur eine etwa 2,5'' große Scheibe, die selbst bei Anwendung stärkerer Optik ohne nennenswerte Einzelheiten bleibt und sich fast ausschließlich in bleich-bläulicher Färbung darbietet. Der spektroskopische Befund weist eine deutliche Übereinstimmung mit dem Sonnenspektrum aus, aus welchem Grunde sich über die physischen Verhältnisse an seiner Oberfläche nur unvollkommene Angaben machen lassen. Eine Atmosphäre ist sicherlich vorhanden. Der Durchmesser der Planetenkugel beträgt rund 53000 km. Aber ihre Masse, die von Le Verrier zu 1/9322 und von Adams zu 1/6000 Sonnenmassen gefunden wurde, ist dadurch, daß Neptun der Uranusbahn wesentlich näher stand, als anfangs angenommen wurde, von Newcomb zu 1/19380, von H. Struve zu 1/19396 und von Sir Dyson zu 1/19474 Sonnenmassen bestimmt worden. Die Dichtigkeit der Planetenmaterie entspricht damit etwa $\frac{1}{5}$ der Erddichte.

Die Rotationsverhältnisse des Neptun sind erst wenig geklärt. Photometrische Messungen der Helligkeit des Planeten deuteten wiederholt auf Lichtschwankungen hin, die ursächlich in der

Rotation des Neptun begründet zu sein schienen und deren Periode 1923 von E. Oepik und R. Livländer mit $7^h 50^m$ gefunden wurde. Indessen haben J. H. Moore und D. H. Menzel 1928 aus spektroskopischen Rotationsbestimmungen eine Umdrehungszeit von 15,8 Stdn. abgeleitet, der damit doppelt so groß wird wie der photometrische Wert.

Neptun wird von einem Mond begleitet, der Ende 1846 als Sternchen 13. Größe entdeckt wurde und in 5 Tagen und 21 Stdn. seine Bahn durchläuft. Sein Abstand vom Planeten beträgt etwa 454 000 km.

Abschließend bleibt zu erwähnen, daß auch nach der Entdeckung des Neptun und einer ent-

sprechenden Berücksichtigung seiner störenden Einflüsse auf die Uranusbewegung ein Ausgleich aller Fehler unmöglich war. Diese Eigenschaften führten bald zu neuen theoretischen Spekulationen über das Dasein eines transneptunischen Planeten. Andere Versuche bemühten sich, aus den Aphelien der Kometenbahnen gewisse Rückschlüsse auf die Bahnverhältnisse mehrerer hypothetischer Planeten außerhalb der Neptunbahn zu ziehen. Wenn diesen Bemühungen auch lange der Erfolg versagt blieb, so wurde doch im Jahre 1930 durch die Entdeckung des transneptunischen Planeten Pluto der analytischen Astronomie ein neues Ruhmesblatt dargeboten.

Diedrich Wattenberg (Bremen).

Die neuen Elemente Neptunium, Plutonium, Americium und Curium

Auf der Tagung der American Chemical Society in Atlantic City im April 1946 gab G. T. Seaborg¹ einen Bericht über Entdeckung und Eigenschaften der neuen Transurane. Das zuerst entdeckte war ein Element 93 und erhielt den Namen *Neptunium* (Np). Es wurde von McMillan und Abelson durch Beschießen von Uran mit Neutronen des großen Lawrence'schen Cyclotrons hergestellt². Das dabei aus U^{238} entstehende U^{239} zerfällt mit 23 Min. Halbwertszeit in Np^{239} , und dieses ist ebenfalls ein β -Strahler von 2,3 Tagen Halbwertszeit.

Als nächstes wurde ein Element 94, das den Namen *Plutonium* erhielt, von Seaborg, McMillan, Wahl und Kennedy gefunden. Durch Bombardieren von Uran mit Deuteronen des Lawrence'schen Cyclotrons entsteht in einem (d, 2n)-Prozeß aus U^{238} ein Np^{238} . Dieses Element zerfällt mit 2 Tagen Halbwertszeit in Pu^{238} , einen α -Strahler von 50 Jahren Halbwertszeit. Das wichtigste Isotop des Plutoniums, das heute in den Piles in technischem Ausmaß hergestellt wird, ist Pu^{239} , die Tochtersubstanz des 2,3-Tage- Np^{239} . Es wurde 1941 von Seaborg, Segre, Kennedy und Lawrence entdeckt. Es ist ein α -Strahler von 24 000 Jahren Halbwertszeit. Ebenso wie U^{235} wird es von langsamen Neutronen gespalten. Die ersten chemischen Untersuchungen von Plutonium wurden mit wenigen Mikrogrammen Pu^{239} , hergestellt im Cyclotron, vorgenommen. Eine besondere „ultramikrochemische“ Methode wurde dafür von Kirk entwickelt. Sie lieferte die Basis für den technischen Trennprozeß, der jetzt in den Pile-Fabriken in rund

10^{10} -mal größerem Ausmaß das Plutonium 239 aus dem bestrahlten Uran abscheidet. Als größere Mengen vorhanden waren, wurde festgestellt, daß Pu die Oxydationsstufen VI, V, IV und III hat, und daß, verglichen mit Np und U, eine Tendenz zu den niedrigeren Oxydationsstufen hin vorhanden ist. Es gibt in Analogie zum Uranylion ein Plutonylion (PuO_2)⁺⁺. $Pu^{IV} \rightarrow Pu^{III}$ kann durch Reduktion mit U^{III} erzielt werden.

Wahl und Seaborg entdeckten 1942 das *Neptuniumisotop* Np^{237} . Es entsteht aus U^{237} , das ein β -Strahler mit 7 Tagen Halbwertszeit ist und seinerseits aus U^{238} durch (n, 2n)-Prozeß gebildet wird. Np^{237} ist ein α -Strahler von $2,25 \cdot 10^6$ Jahren Halbwertszeit. Es wird heute in den Piles hergestellt und ist rein in kleinen Mengen verfügbar. Damit angestellte Untersuchungen ergaben die Oxydationsstufen VI, V, IV, III, ebenfalls mit größerer Stabilität der niedrigen Oxydationsstufen, verglichen mit Uran.

Seaborg, James, Morgan und Chiorso haben neuerdings die Elemente 95 und 96 „identifiziert“ und ihre chemischen Eigenschaften durch tracer-Methoden studiert. Sie erhielten diese Elemente durch Bombardierung von U^{238} und Pu^{239} mit 40 MeV α -Teilchen im Cyclotron. Angaben über radioaktives Verhalten werden nicht gemacht. Die Entdecker schlagen den Namen *Americium* (Am) für Element 95 und *Curium* (Cm) nach den Curies für Element 96 vor. Dies wird auf folgende Weise begründet.

„Die Elemente 90 bis 94 liegen an den entsprechenden Stellen unter den Übergangselementen der 6. Periode von Hf_{72} bis Os_{76} , in denen die 5d-Elektronenschale aufgefüllt wird. Die Übergangselemente Hf bis Os sind in ihren chemischen Eigenschaften ähnlich

¹ Chem. Engng. News 24, 1192 [1946].

² Hahn u. Straßmann in Deutschland kannten dieses Element bekanntlich auch.