

triebe in das Gemeineigentum der öffentlichen Hand darauf zu achten, daß die oben berührten Gefahren des Staatskapitalismus vermieden und so die Freiheit und Würde des Menschen nicht von der anderen Seite her wieder in Frage gestellt werden. Deshalb sollen zunächst die (im Sinne des früher entwickelten organischen Aufbaus) eigenständigen Untergliederungen (Gemeinden, Provinzen, Länder) Träger der genannten Unternehmen sein und dann erst im Geiste des Subsidiaritätsprinzips auch der Staat selbst.

Als letztes Problem des sozialen Gebietes sei hier die Planwirtschaft wenigstens kurz genannt. Wenn sie nicht mit dem Staatskapitalismus zusammenfällt, so kommt sie ihm doch bedenklich nahe; jedenfalls schränkt sie für die Privatunternehmer den Spielraum freier Betätigung auf das äußerste ein. Außerdem führt sie folgerichtig zu einer so rücksichtslosen Einsatzlenkung der Arbeitskräfte, daß auf die Dauer von Freiheit und personaler Würde noch weniger als im kapitalistischen System übrigbleibt, daß besonders die Ursicherung der freien Persönlichkeit, die Familie, auf das schwerste gefährdet wird. Das Gespenst eines entwurzelten Sklaventums steigt empor, das um so grauenhafter ist, als schließlich die Menschen ohne die Möglichkeit einer freien Berufswahl zu der Arbeit gezwungen werden, die man für die Verwirklichung des Wirtschaftsplanes braucht. Wiederum gehen uns hierzu die Zustände, wie sie sich im Dritten Reich entwickelt haben, ein abschreckendes Beispiel. Im Gegensatz zur Planwirtschaft kann eine Wirtschaftsplanung oder -lenkung, welche die Würde der freien Persönlichkeit achtet, nicht nur erwünscht, sondern sogar notwendig sein.

Wie unsere Darlegungen zeigen, geht es heute im tiefsten um einen Wandel der Gesinnung und der Wertung, der wieder die Freiheit und die personale Würde des Menschen über alle irdischen Güter stellt. Dazu muß freilich der Mensch im Lichte Gottes und der Ewigkeit gesehen werden. Diese Sicht wurde zum ersten Mal durch das Christentum voll zur Geltung gebracht; sie ging immer wieder verloren, wo das Christentum zurückgedrängt wurde, und wird sich auch in Zukunft nur dort voll und auf die Dauer durchsetzen lassen, wo die Kraft des Christentums ungebrochen lebt.

Das astronomische Weltbild unserer Zeit

Von GERHARD MICZAIKA

Das astronomische Weltbild des Altertums und des Mittelalters bis weit in die Neuzeit hinein ist wesentlich durch Erde, Sonne, Mond und die Planeten bestimmt gewesen. In der Mitte des Kosmos ruht die Erde, umgeben von Okeanos. Sie ist das Zentrum der konzentrischen Kristallkugeln, die die Planeten, Sonne und Mond tragen. Zu äußerst wölbt sich die achte Kugel, an die die Fixsterne geheftet sind. Die Rotation der Kugeln bewirkt die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper. Die Welt des antiken Menschen ist endlich, sie wird durch die achte Sphäre geschlossen. Zu er-

forschen, was „dahinter“ liegt, hatte die Naturwissenschaft keine Möglichkeit mehr; schon in der Anordnung der Fixsterne äußert sich ein gewisser Schematismus, der aus der Unmöglichkeit, ihre individuellen Entfernungen zu messen, entspringt. So nimmt man sie alle in einheitlichem Abstand, eben auf einer Kugelschale an. Die Grenzen waren für die Astronomen durch die Reichweite des menschlichen Auges und seiner instrumentellen Hilfsmittel gesetzt. Den Philosophen allerdings war es möglich, über das „dahinter“ Vorstellungen zu entwickeln. Aber auch für sie ist die Welt endlich. Jedes Ding ist für Aristoteles mit einem Ort verknüpft; ein Ort ohne ein Ding ist für seine Logik eine Unmöglichkeit. Er kann also auch hinter der Fixsternsphäre keinen Ort mehr geben, da es dort keine Dinge mehr gibt. Dort ist also auch nicht mehr „Welt“.

Das Mittelalter hat dieses Weltbild nicht aufgehoben. Empirische Veranlassung für eine Änderung gab es nicht — die Reichweite von Sinnesorganen und Hilfsmitteln hatte sich nicht vergrößert —, und zudem befand es sich in weitgehender Übereinstimmung mit den Vorstellungen der Heiligen Schrift. Es war nur natürlich, die Erde als Träger des Menschen und Schauplatz seiner Erlösung durch Christus im räumlichen Mittelpunkt der Schöpfung zu denken. Die antike Auffassung von der Unendlichkeit in der Zeit ist allerdings beseitigt. Die griechische Philosophie ist mit dem Übergang vom Sein zum Nichtsein und umgekehrt nicht zurechtgekommen, er war für sie nie zu verstehen. Die Unveränderlichkeit der Welt lag ihr also näher als der Gedanke ihrer zeitlichen Endlichkeit, wie ja überhaupt das griechische Weltbild, zumal das des Aristoteles, letzten Endes aus der unausgesprochenen Überzeugung von der Begreifbarkeit des Seins hergeleitet wird. Die Offenbarung setzt einen historischen Anfang für den Kosmos, die Schöpfung, und ein Ende, das Gericht. Über alle Grenzen hinaus ist nur Gott.

Die Durchbrechung dieses Bildes kam eigentlich nicht vom Naturwissenschaftlichen her, wenn es auch Nikolaus Cusanus war, der sie vollzog, als er neben die absolute Unendlichkeit Gottes die räumliche Unendlichkeit der Anordnung der endlichen Dinge setzte. Über Giordano Bruno verläuft die Weiterentwicklung vom unendlichen Kosmos bis zu seiner Deifizierung immer noch im Philosophisch-Spekulativen, wenn auch durch Kopernikus die ungeheure Entfernung der Fixsterne gegenüber den Abmessungen des Planetensystems nahegelegt wurde. Der Angelpunkt des Problems lag bei den Sternentfernungen. Sie schienen unermesslich groß zu sein. Für Kopernikus und Kepler war die Welt noch das Planetensystem mit der Sonne im Mittelpunkt, die Fixsterne bildeten nur den abschließenden Hintergrund. Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts begann sich das Weltbild der Forschung auszuweiten, als Wilhelm Herschel anfang, die Struktur des mit Sternen gefüllten Raumes zu ergründen. Allerdings hatte schon 1750 Thomas Wright die Ansicht geäußert, das Sternsystem sei ein ringförmiges, symmetrisches Gebilde und außer ihm existierten noch viele andere, die sich im Fernrohr

als nicht in Einzelsterne auflösbare Nebelflecke zu erkennen geben: ein fast prophetischer Gedanke, wenn man an die wenigen Erfahrungstatsachen denkt, die damals für eine solche Vorstellung zur Verfügung standen. Anklang fand er daher auch kaum, wenn auch Kant in seiner „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ und Lambert in den „Kosmologischen Briefen über die Einrichtung des Weltbaues“ eine gewisse kosmische Ordnung über das Planetensystem hinaus entwickelten und seine Gedanken zum Teil weiter ausführten. Empirische Grundlagen schuf erst Herschel, der als eigentlicher Begründer der Stellarstatistik anzusehen ist und mit seinen Sternzählungen in ausgewählten Eichfeldern die Struktur des Sternsystems zu erschließen suchte. Er bemühte sich, ihre Fundamentalfrage, wie aus der Verteilung der Sterne nach ihrer scheinbaren Helligkeit ein Schluß auf ihre räumliche Anordnung zu ziehen sei, zu lösen. Das berühmte Bild vom flachen, linsenförmigen Sternsystem mit seiner größten Ausdehnung in der Ebene der Milchstraße geht auf ihn zurück. Entfernungen in gebräuchlichen Einheiten vermag er noch nicht anzugeben, er kann sie nur maßstäblich in Einheiten einer Standardgröße ausdrücken, die jedoch zunächst nicht an das übliche Maßsystem angeschlossen werden konnte. Er ist auch der erste, der erkennt, daß die Sonne samt ihren Planeten eine Bewegung unter den Sternen in Richtung auf das Sternbild des Herkules ausführt. Allzu überraschend war diese Entdeckung nicht mehr, denn Halley hatte um 1718 bereits bemerkt, daß der Name Fixstern eigentlich zu Unrecht besteht, da seinen Trägern ohne Zweifel eine, wenn auch an der Sphäre kaum zu bemerkende Eigenbewegung zukommt. 1838 bestimmte Friedrich Wilhelm Bessel auf trigonometrischem Wege als erster die Entfernung eines Fixsterns. Der Vorstoß in die Weiten des Raums, den wir heute noch miterleben, hatte begonnen. Struwe, Seeliger und Kapteyn präzisieren das Herschelsche Bild. Das Milchstraßensystem nimmt bestimmte Dimensionen an. Im Vergleich mit ihm erscheint die Ausdehnung des planetarischen Systems von verschwindender Kleinheit. Im Zuge der Entwicklung versinkt es schließlich in seiner kosmischen Stellung zur Bedeutungslosigkeit, allenfalls noch ausgezeichnet als Träger des Beobachters. Der nächste Sprung in die Tiefe des Raumes war die Einbeziehung der extragalaktischen, d. i. außerhalb der Milchstraße befindlichen Systeme der fremden Welteninseln, die Millionen und Hunderte Millionen von Lichtjahren entfernt sind, deren Anzahl in die sechsstelligen Zahlen geht und die sich aus Milliarden von Einzelsternen zusammensetzen.

Doch wollen wir zunächst einmal in unserer engeren Umgebung, im eigenen Sternsystem bleiben. Als unerläßliche Voraussetzung für die Erforschung seiner Struktur ist die Bestimmung von Entfernungen anzusehen. Das Ideal wäre, von jedem Stern seinen Ort an der Sphäre und seine Distanz zu ermitteln, um seinen räumlichen Standpunkt berechnen zu können; ein natürlich völlig hoffnungsloses Unterfangen, wenn man an die Anzahl der Sterne

denkt, die erfaßt werden müßten. Tatsächlich liegen heute auch nur für ein paar tausend Objekte Entfernungen vor, die auf trigonometrischem Wege nach dem gleichen Prinzip erhalten wurden, wie man es etwa in der Erdvermessung anwendet. Die Meßbasis muß wegen der großen Entfernungen sehr weit vergrößert werden, so daß sie auf der Erdoberfläche nicht mehr untergebracht werden kann. Man benutzt daher als Basis den Durchmesser der Erdbahn um die Sonne. Die trigonometrischen Parallaxen dienen zur Eichung der sogenannten spektroskopischen, die bereits für wesentlich mehr Objekte vorliegen als jene. Die trigonometrische Entfernungsbestimmung besteht ja aus der Messung eines äußerst kleinen Winkels, der um so kleiner wird, je weiter der Stern entfernt ist. Die Beobachtungsgenauigkeit setzt eine Grenze, die z. Zt. bei etwa 300 Lichtjahren Entfernung liegt. Aus gewissen Eigentümlichkeiten in den Spektren der Sterne läßt sich auf ihre absolute Leuchtkraft unabhängig vom Abstand schließen, so daß die Differenz zwischen scheinbarer und absoluter Helligkeit leicht ihre Entfernung zu berechnen erlaubt. Dabei wird im allgemeinen angenommen, daß im Weltraum keine lichtschwächende Materie existiert, die Helligkeitsverminderung also ein reiner Entfernungseffekt ist. Wir wissen heute, daß diese Voraussetzung nicht streng zutrifft.

Neben diesen beiden Methoden stehen noch einige besondere Verfahren der individuellen Entfernungsbestimmung zur Verfügung, deren Anwendbarkeit aber auf relativ wenig Objekte mit speziellen Eigenschaften beschränkt ist. Wesentlich größere Bedeutung für unser Problem haben die statistischen Parallaxen ganzer Gruppen von Sternen gewonnen, bei denen allerdings — das ist ein wesentliches Merkmal für das astronomische Forschungsgebiet der Stellarstatistik, das wir mit ihnen betreten — auf eine für ein Einzelobjekt gültige Aussage verzichtet wird. Man hat nur Sorge zu tragen, bei der Auswahl auf die Bildung wirklich repräsentativer Gruppen zu achten. Als Meßbasis dient nicht mehr der Erdbahndurchmesser, sondern eine Strecke, die ihn um ein fast beliebiges Vielfaches übertrifft. Man macht Gebrauch von der Tatsache, daß das gesamte Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von 20 km/sec durch den Weltenraum fliegt, also in einem Jahr etwa 600 Millionen km, das doppelte des Erdbahndurchmessers, zurücklegt. Die Sterne erfahren durch diese Bewegung eine Verrückung ihres Ortes an der Sphäre, die allerdings noch durch den Einfluß der eigenen räumlichen Bewegung überlagert wird; beide Komponenten lassen sich nicht ohne weiteres trennen. Unter der Annahme, daß die Sternbewegungen nach Größe und Richtung im Raum nach dem Gesetz des Zufalls verteilt sind, müssen sie sich bei der Mittelung über eine große Zahl von Einzelindividuen aufheben, und ein etwa übrigbleibender Rest ist als Spiegelung der Sonnenbewegung aufzufassen. Die Abmessung des Spiegelbildes der Sonnenbewegung ist abhängig von der Zwischenzeit, die zwischen den Beobachtungen verstrichen ist, und der mittleren Entfernung der Stern-

gruppe. Bei Intervallen von 10 oder gar 100 Jahren ist die Meßbasis auf das zwanzig- bzw. zweihundertfache des Erdbahndurchmessers vergrößert, wir können also tiefer in den Raum hinein vorstoßen. Dennoch genügt auch dieses Verfahren bei weitem noch nicht, um den den großen Instrumenten zugänglichen Raum zu durchforschen und die Verteilung der Massen im Universum zu ergründen. Wir sind auf Methoden angewiesen, die der mathematischen Statistik entnommen sind, und die darin bestehen, aus Wertereihen bestimmter Größen die Frage nach Zusammenhängen zwischen ihnen zu beantworten und gewisse Meßzahlen abzuleiten, die eine etwaige Relation ausreichend charakterisieren. Unsere Aufgabe besteht darin, aus der Verteilung der Sterne an der Sphäre und über die scheinbaren Helligkeiten einen Schluß auf ihre räumliche Anordnung zu ziehen. Der Weg führt über reine Abzählungen der Sterne nach ihrer Helligkeit in bestimmten, möglichst zahlreichen Himmelsgegenden, sogenannten Eichfeldern. Aus den resultierenden Wertereihen ist der räumliche Verlauf der Sterndichte in der betreffenden Richtung unter Zugrundelegung einer statistischen Beziehung, der Häufigkeitsfunktion der absoluten Helligkeiten zu ermitteln. Die Technik des Verfahrens kennenzulernen, liegt außerhalb des Rahmens unserer Betrachtungen, wir wollen uns den Ergebnissen zuwenden. Die Schwierigkeit ist offenbar durch die Tatsache gegeben, daß den Sternen nicht die gleichen absoluten Helligkeiten zukommen, daß sie vielmehr in einem sehr weiten Bereich äußerst verschieden intensiv strahlen. Manche geben mehr als das 10000fache der Sonne an Licht ab, andere wieder nur ein Zehntausendstel, so daß es unmöglich ist, aus der scheinbaren Helligkeit ohne weiteres auf die Entfernung zu schließen.

Seeliger, Kapteyn und Schwarzschild entwickelten als erste ein Bild vom Sternsystem, das lange Zeit Gültigkeit gehabt hat. Es ist das sog. lokale System, das sie beschreiben. Es hat die Form einer flachen Linse, die ihre größte Ausdehnung in der Ebene der Milchstraße hat, die zugleich die Symmetrieebene darstellt. In dieser Ebene nimmt die Sterndichte nach allen Seiten ab; in 30 000 Lichtjahren Entfernung ist sie auf 1% ihres Wertes in der Sonnenumgebung gesunken. Senkrecht dazu wird dieser Wert wegen der starken Abplattung schon nach 6000 Lichtjahren angenommen.

Wir wissen heute durch die Ausdehnung der Untersuchungen bis zu schwächeren und entfernteren Sternen, daß dieses Bild unzutreffend ist. Die Milchstraße bleibt zwar Symmetrieebene, das Sternsystem erstreckt sich aber nicht gleichmäßig weit nach allen Richtungen. Es besitz in Richtung auf die Gegend des Sagittarius sein Massenzentrum; das lokale System, dessen Dimensionen Seeliger und Kapteyn zu groß angenommen hatten, behält nur die Bedeutung einer örtlichen Sternwolke im größeren System. Die Sonnenumgebung liegt exzentrisch zu seinem sternreichen Mittelpunkt; daher rührt die bekannte asymmetrische Verteilung des Lichtes im Verlauf des Milchstraßenbandes her. Die lichtstärksten Milchstraßenwolken liegen in

den Sternbildern Ophiuchus, Sagittarius, Scorpius und Scutum, also dort, wo das Systemzentrum zu suchen ist. Von dieser Stelle nehmen Sternzahl und Lichtintensität der Milchstraße nach beiden Seiten zu ab, bis sie in der gegenüberliegenden Richtung, im Orion, ihre kleinsten Werte erreichen. Die Struktur im einzelnen wird damit keineswegs beschrieben. Die wahre Sternverteilung im Raum, die durch zahlreiche diskrete Sternwolken und Sternleeren bestimmt ist, verlangt nach viel detaillierteren Angaben, mit deren äußerst mühevoller Erarbeitung die Stellarstatistik eben beschäftigt ist. Eine recht unglückliche Rolle spielt die interstellare Materie bei der Lösung aller Fragen über den Aufbau des Milchstraßensystems. Der Raum zwischen den Sternen erwies sich nicht als leer. Gas und diffus verteilter Staub, der sich gelegentlich auch zu stärker absorbierenden Wolken verdichtet, füllt ihn aus. Die daraus resultierende Schwächung des Sternlichtes führt zu systematischer Verfälschung der auf nicht trigonometrischem Wege erhaltenen Sternentfernungen, sie ergeben sich als zu groß. Besonders unangenehm wirkt sich der Umstand aus, daß die interstellare Materie eine sehr komplizierte Verteilung im Raum aufweist. Soweit es sich um die gasförmige Erscheinungsform handelt, scheint sie ihn in äußerst weitgehender Verdünnung einigermaßen gleichmäßig zu erfüllen, man rechnet etwa 10^{-27} Gramm in einem Kubikzentimeter. Der staubförmige Anteil scheint sich mehr in die Nähe der Milchstraßenebene zu konzentrieren, so daß besonders das Licht der Sterne, die in dieser Ebene stehen, infolge seines langen Weges in den Staubmassen absorbiert wird. Trotz der großen Verdünnung der interstellaren Materie dürfte ihre Gesamtmasse von der gleichen Größenordnung sein wie die, die in den Sternen konzentriert ist. Die Erforschung des Vorkommens von Materie im Raum in anderen als sternähnlichen Formen ist seit etwa 15 Jahren wegen ihrer Bedeutung für die Aufklärung des Systemaufbaues ein hervorragendes Arbeitsgebiet der Astronomie geworden. Ihre verwickelte wolkenartige Struktur erfordert einen sehr erheblichen Arbeitsaufwand und erschwert die Berücksichtigung ihres Einflusses außerordentlich. Die Auswirkung besonders konzentrierter Wolken wird in den vielen verdunkelten Milchstraßengebieten bereits für den oberflächlichen Betrachter offensichtlich. Aber auch die sternreichen Gebiete sind nicht frei von ihrer Einwirkung.

Durch Abzählungen dringt man kaum über Entfernungen von 8—9000 Lichtjahren hinaus, da die Lichtschwäche der meisten Sterne sie schon bei viel kleineren Abständen unerreichbar werden läßt. In größeren Entfernungen stehen nur noch wenige absolut sehr helle Objekte zur Verfügung, um Auskunft über die Struktureigenschaften wenigstens in groben Umrissen zu geben. Dazu gehören vor allem die Sternhaufen, unter ihnen wieder besonders die kugelförmigen, und eine gewisse Gruppe von lichtveränderlichen Sternen.

Die Kugelhaufen und die rasch wechselnden Veränderlichen führten einen

entscheidenden und großen Schritt in den Raum hinaus. Sie vergrößerten den zugänglichen Teil des Milchstraßensystems um ein Vielfaches. Bahnbrechend auf diesem Gebiet sind die Arbeiten Shapleys an der Harvard-Sternwarte geworden, der vor allem die wichtigste Voraussetzung, die Methoden für ihre Entfernungsbestimmung, schuf. Die Kugelhaufen bilden ein System, das in der Richtung auf das durch Sternzählungen gefundene Massezentrum der Milchstraße einen Mittelpunkt besitzt, der in etwa 33 000 Lichtjahren Entfernung zu suchen ist. Seine Symmetrieebene liegt in der des Milchstraßensystems, jedoch ist es bei weitem nicht so stark abgeplattet wie dieses, denn es besitzt in dieser Ebene eine Ausdehnung von 160 000 Lichtjahren und von 120 000 senkrecht dazu. Die Sonne steht stark exzentrisch zum Mittelpunkt, da ihre Entfernung vom nächsten Rand nur etwa halb so groß ist wie die zum Zentrum. Ob das durch die Kugelhaufen definierte Gerüst bis zu den äußersten Randzonen mit isolierten Feldsternen erfüllt ist, vermag man heute noch nicht in voller Allgemeingültigkeit zu sagen. Die Aussichten, eine zwingende Antwort darauf geben zu können, sind vorläufig auch nicht groß, wenn auch einiges im positiven Sinne spricht. Es gibt Sterne, die mit äußerster Regelmäßigkeit und Perioden von einigen Stunden ihre Helligkeit ändern; sie besitzen alle die gleiche hohe absolute Leuchtkraft, so daß sie bis in große Entfernungen verfolgt werden können. Die Harvard-Astronomen haben systematisch nach weit entfernten Sternen dieser Art gesucht und sind zu der Feststellung gekommen, daß zumindest sie das Kugelhaufensystem bis zu seinen äußersten Grenzen erfüllen. Ihr Systemmittelpunkt fällt mit dem Milchstraßen- bzw. Kugelhaufenmittelpunkt zusammen. Man kann sie über den Mittelpunkt in Raumgebiete jenseits davon verfolgen. Einer ist sogar bekannt, der auf der „anderen Seite“ weiter vom Zentrum entfernt steht, als die Sonne auf ihrer, nämlich 110 000 Lichtjahre. Von der Sonne ist er rund 130 000 Lichtjahre entfernt. Wir dürfen wohl zumindest stark vermuten, daß das Vorkommen der rasch wechselnden Veränderlichen in so großen Weiten für die Existenz von Einzelsternen überhaupt zwischen den Kugelhaufen spricht, so daß wir berechtigt sind, unserem Sternsystem eine Form und Ausdehnung zuzuschreiben, wie sie durch die Kugelhaufen vorgezeichnet wird.

Wir haben das Sternsystem bisher nur unter statischen Gesichtspunkten betrachtet und nichts über seine kinematischen und dynamischen Verhältnisse gesagt. Wenn auch heute bereits mehrere theoretische Ansätze vorliegen, um die beobachteten Gesetzmäßigkeiten der Sternbewegungen unter einem einheitlichen Gedanken zu deuten, so ist das letzte Wort hier noch lange nicht gesprochen. Die z. Zt. bestentwickelte und zweifellos einfachste Vorstellung von den Bewegungsverhältnissen ist in der Rotationstheorie des Milchstraßensystems zu erblicken. Als Rotationszentrum ergibt sich der auf andere Weise gefundene Schwerpunkt des Systems, wie es ja auch zu erwarten ist. Die Umlaufgeschwindigkeit um das Zentrum nimmt nach außen

hin monoton ab. Die Sonnenumgebung benötigt etwa 200 Millionen Jahre, um einen Umlauf zu vollenden. Aus dynamischen Überlegungen läßt sich seine Gesamtmasse zu 10^{11} Sonnenmassen abschätzen. Sie dürfte etwa zu gleichen Teilen in kompakter Konfiguration als Sterne und in Form der äußerst fein verteilten Materie zwischen ihnen in Erscheinung treten.

Die Existenz ausgeprägter Sternwolken spricht zunächst gegen dieses Bild, denn wenn die Rotationsgeschwindigkeit mit wachsendem Mittelpunktsabstand abnimmt, müßte es zu einer allmählichen Auflösung größerer Sternansammlungen kommen, da ihre äußeren Teile gegen ihre inneren zurückbleiben. Im Laufe der Zeit stellt sich eine gleichförmige Verteilung der Sterne ein, die nur noch vom Abstand vom Zentrum abhängt, sonst aber keinerlei Struktur mehr aufweisen sollte. Dieser Zustand ist aber offensichtlich noch nicht erreicht, das System kann daher noch nicht sehr alt sein, also auch noch nicht viele Umläufe — sicher nicht mehr als 10 — vollführt haben. Man wird so auf ein Alter des Milchstraßensystems von etwa 1—2 Milliarden Jahre geführt. Ein deshalb auffälliges Ergebnis, weil man der Erde aus Betrachtungen über die Energieerzeugung der Sonne und aus geologischen Befunden ein ähnliches Alter zuschreibt.

Aber auch an den viele Zehntausende von Lichtjahren entfernten Grenzen unseres eigenen Sternsystems ist der Drang der Forschung in den Raum nicht zum Stehen gekommen. Die zweite Phase der Erforschung des Weltalls ließ noch keinen Abschluß erkennen, als bereits die dritte, die Durchmusterung des Reichs der extragalaktischen Nebel, begann. Die große Ruhepause zwischen der ersten und zweiten Phase wiederholte sich nicht, und mit Riesenschritten durchmaß der forschende Menschenggeist einen Raum, der sich um das Zehntausendfache weiter ausdehnt als das galaktische System, und dessen Grenzen vorläufig nur dadurch gegeben sind, weil sie durch die Reichweite unserer Spiegelteleskope, vor allem durch den $2\frac{1}{2}$ -m-Spiegel auf dem Mt. Wilson bestimmt werden. Aber schon ist ein neues Instrument im Entstehen, der 5-m-Spiegel auf dem benachbarten Mt. Palomar, dessen Fertigstellung durch den Krieg verzögert wurde, um auch diese Grenze zu überschreiten. Es ist das System der Humboldt'schen Welteninseln, das Thomas Wright und Kant um die Mitte des 18. Jahrhunderts gefordert haben. Derham (1714) hatte die Nebel für Öffnungen in der Sphäre gehalten, durch die man den feurigen Empyreum-Himmel erblicken könne.

Der große Mt.-Wilson-Spiegel brachte erst vor wenigen Jahrzehnten endgültig Klarheit über ihre wahre Natur. Die nächsten erscheinen auf den Aufnahmen als ausgedehnte und helle Objekte, während die fernsten sich nur als lichtschwache kleine Fleckchen zu erkennen geben, um schließlich überhaupt zu verschwinden. Von denen am weitesten außen braucht das Licht rund 500 Millionen Jahre, um zur Erde zu gelangen, so daß man mit den größten Instrumenten einen kugelförmigen Raum von etwa 1000 Millionen Lichtjahren Durchmesser erfassen kann. In diesen Volumen sind gegen 100

Millionen Nebel enthalten, jeder vergleichbar mit unserem Sternsystem. Einzelheiten über die Methoden, ihre Abstände zu bestimmen, müssen wir uns versagen. Es sind wieder die rasch wechselnden Veränderlichen, die sich durch ihre ununterbrochen ausgeschiedenen Lichtsignale in ihnen bemerkbar machen, oder gelegentlich aufflammende sog. Neue Sterne, deren maximale absolute Helligkeit bekannt ist. Schließlich versagten aber auch diese Hilfsmittel bei den entfernteren, und man wurde auf eine statistische Beziehung zwischen scheinbarer Ausdehnung oder Helligkeit des Nebelbildes und der Distanz zur Entfernungsbestimmung angewiesen. Der nächste ist der mit bloßem Auge sichtbare Andromedanebel, der in etwa 800 000 Lichtjahren Entfernung steht und deutlich Spiralstruktur aufweist. Aber auch die anderen, die nicht mehr in Details aufgelöst werden können, sind riesige Sternsysteme, zusammengesetzt aus Tausenden Millionen von Einzelsternen, untermischt mit offenen und kugelförmigen Sternhaufen, dazwischen dunkle und leuchtende diffuse Materie, ganz wie in unserem eigenen Sternsystem und sicher mit den gleichen physischen Eigenschaften wie in ihm.

Die Nebel treten zumeist isoliert auf, gelegentlich aber auch in kleineren Gruppen oder stärkeren Ansammlungen, den Nebelnestern, mit mehreren tausend Mitgliedern. Betrachtet man größere Raumteile, so gehen solche Häufigkeitsschwankungen praktisch unter, und es ist erlaubt, von einer gleichmäßigen Verteilung zu sprechen. Es ist unmöglich zu sagen, ob sich die Erfüllung des Raumes mit gigantischen Sternsystemen über die Grenzen der Reichweite unserer derzeitigen optischen Hilfsmittel in gleicher Weise fortsetzt, ob wir mit anderen Worten ein wirklich repräsentatives Muster des Universums beobachten. Bevor wir uns aber mit kosmologischen Fragen beschäftigen, müssen wir eine andere empirische Feststellung kennenlernen, die für diese Fragen von wesentlicher Bedeutung ist.

Das Licht der Nebel summiert sich aus dem Licht der vielen tausend Millionen Sterne, die jeden einzelnen von ihnen bilden. Es hat in seiner Zusammensetzung aus verschiedenen Farben, genauer ausgedrückt den einzelnen Wellenlängen, Ähnlichkeit mit der Sonnenstrahlung. Zerlegt man es mit einem Prisma in einem Spektroskop, so erscheinen die bekannten dunklen Fraunhoferschen Linien in seinem Spektrum. Die Spektrallinien definieren schmale und scharf begrenzte Farbbereiche, die in der untersuchten Strahlung fehlen; sie sind durch Gase in den Atmosphären der Sterne aus dem von ihnen emittierten Licht, das aus tieferen Schichten stammt, herausabsorbiert worden. Der Prozeß verläuft so, wie wir ihn auch im Laboratorium durchführen können, um dunkle Absorptionslinien zu erzeugen. Jedes chemische Element entwickelt ein charakteristisches Liniensystem, an dem es wiederzuerkennen ist. In der Spektralanalyse macht man davon ausgiebig Gebrauch. Die Linien erscheinen immer an der gleichen Stelle, so lange eine Bedingung erfüllt ist: Die Lichtquelle darf keine Bewegung in der Blickrichtung ausführen. Wird sie nämlich im Visionsradius bewegt, so verschieben sich die Spektrallinien

ein wenig je nach der Größe der Geschwindigkeit. Die Bewegungen der Sterne werden auf diese Weise untersucht. Es ist eine Anwendung des bekannten Dopplerprinzips.

Die spektroskopische Untersuchung der Nebel konnte nicht bis zu den schwächsten, also entferntesten Objekten ausgedehnt werden. Ihre geringe scheinbare Leuchtkraft erfordert bei den photographisch durchgeführten Messungen Belichtungszeiten bis zu 100 Stunden, die man nicht mehr überschreiten kann. Die Reichweite ist daher für die spektroskopischen Untersuchungen geringer, als für die, die auf direkten Aufnahmen beruhen.

Die Nebel zeigen alle nach dem roten Ende des Spektrums verschobene Linien, und zwar sind sie um Beträge verschoben, die das von den Sternen gewohnte um mehrere Größenordnungen überschreitet. Das Merkwürdigste dabei ist: die Rotverschiebung ergibt sich als proportional zur Entfernung. Sie hat zunächst eine wichtige sozusagen praktische Konsequenz: sie ändert die scheinbare Helligkeit der Nebel. Eine entsprechende Korrektur muß in Rechnung gestellt werden, wenn die Helligkeiten als Grundlage für Betrachtungen über die Verteilung der Systeme im Raum dienen sollen.

Der Dualismus in unserer Auffassung vom Wesen des Lichtes weist ihm gleichzeitig Wellen- und Korpuskeleigenschaften zu. Eine Rotverschiebung stellt eine Wellenlängeänderung dar, und zwar eine Vergrößerung, was gleichbedeutend mit einer Frequenzerniedrigung ist. Eine Frequenzerniedrigung wiederum stellt eine Verringerung der Energie der Lichtquanten dar. Nach der fundamentalen quantentheoretischen Beziehung ist ja ihre Energie durch das Produkt aus Schwingungszahl (Frequenz) mit der Planckschen Konstanten h , dem berühmten Wirkungsquantum, bestimmt. Das Verhalten der Rotverschiebung könnte also auch durch die Feststellung ausgedrückt werden, die Wellenlängen des Lichtes werden auf dem Weg vom Nebel zu uns proportional zur Entfernung vergrößert, und die zugehörigen Quanten verlieren in gleicher Weise an Energie. Diese Deutung scheint möglich zu sein, wenn ein Mechanismus ersichtlich wäre, durch den der Energieverlust eintreten könnte. Einen solchen kennen wir aber nicht.

Gewöhnlich wird die Rotverschiebung nach dem Dopplerprinzip als Bewegungsaffekt gedeutet. Wir hätten es also mit nach außen zurückweichenden Nebeln zu tun, gewissermaßen mit einer Flucht nach allen Richtungen und mit Geschwindigkeiten, die um so größer sind, je weiter der Nebel schon fort ist. Die Geschwindigkeiten sind ganz ungewöhnlich hoch. Die größte bis heute gemessene übersteigt in der Sekunde 40 000 km. Das entspricht einer Stundengeschwindigkeit von 150 Millionen km. Wenn man die schwächsten bisher bekannten Nebel messen könnte, würde man vermutlich auf etwa 100 000 km/sec. kommen, und das ist bereits ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit.

Die beiden Deutungen unterscheiden sich also in Bezug auf den Bewegungszustand des Systems der extragalaktischen Nebel. Ein experimentum crucis ist prinzipiell möglich. Die Verringerung der scheinbaren Leuchtkraft der Nebel durch die Rotverschiebung ist größer, wenn sie Folge einer Be-

wegung ist, als wenn sie auf irgendeine andere Weise zustande kommt. Die Entscheidung, welcher Fall vorliegt, wäre zu erbringen, wenn die Entfernungen der Nebel auf direktem Wege in Erfahrung gebracht werden könnten. Leider ist das nicht der Fall; die größten, bei denen der Unterschied am stärksten zur Auswirkung kommt, sind ja gerade durch die — natürlich etwas verfälschten — scheinbaren Helligkeiten bestimmt worden. Ein Ausweg läßt sich finden, z. Zt. ist er noch nicht gangbar — an das Technische des Verfahrens werden sehr hohe Anforderungen gestellt, da die Beobachtungsgenauigkeit nicht hinreicht.

Die Beziehung zwischen den Entfernungen und den Geschwindigkeiten ist linear, wenn man die aus den scheinbaren Helligkeiten bestimmten Entfernungen zugrunde legt. Diese sind aber durch die Rotverschiebung systematisch als zu groß gefunden. Korrigiert man den Fehler heraus, so bleibt die Beziehung nicht mehr linear, die nach der linearen für eine bestimmte Entfernung vorausgesagte Fluchtgeschwindigkeit ist gegenüber der wirklichen zu klein. Die Differenz wächst nach außen.

Hier sind wir an einer offensichtlich sehr wesentlichen Stelle der Erforschung festgefahren. Es fehlt ein in der Zeit einheitliches Bild des Universums. Die Nebeldurchmusterungen sind gewissermaßen Momentaufnahmen. Das Licht der Nebel ist ungeheuer lange Zeiten unterwegs, eine Million Jahre für die nächsten und fast 500 Millionen für die bis jetzt bekannten entferntesten. Wir schauen gewissermaßen in sehr verschiedene Vergangenheiten des Weltalls, seit denen sich aber Änderungen in ihm vollzogen haben, wenn die Rotverschiebung ein Bewegungsphänomen ist. Die Synchronisierung des Bildes auf ein einheitliches „Jetzt“ ist nur mit Annahmen möglich, die mit der Struktur und dem Verhalten des Universums zusammenhängen und in das Gebiet der Kosmologie, und zwar der relativistischen, führen. Sie ist gekennzeichnet durch die Behauptung, daß die Geometrie des Raumes durch seinen Materieinhalt bestimmt wird und daß sich jedem Beobachter, unabhängig davon, wo er seinen Standpunkt im Universum aufgeschlagen hat, der gleiche Anblick bietet. In der letzten Behauptung drückt sich das Mißtrauen dagegen aus, daß unser eigenes Milchstraßensystem eine Sonderrolle im Weltall spielt. Die Nebel fliehen also nicht vor uns, an jedem beliebigen anderen Punkt im All würde vielmehr der gleiche Vorgang zu bemerken sein, wenn das kosmologische Prinzip gilt. Die ersten Weltmodelle von Einstein und de Sitter sind heute aufgegeben. Die Einsteinsche Lösung war ein statisches und homogenes Weltall, das die Fluchtbewegung nicht enthielt, die de Sittersche vernachlässigte das Vorhandensein von Materie. Allgemeine Lösungen gaben zuerst Friedman und Robertson, zu denen vor kurzem die Kosmologien von Milne und MacCrea traten.

Kosmologie ist eine mathematische Domäne, die wir auch durch ein Hintertürchen ohne Mathematik nicht betreten können. Ihre Grundlage ist nicht die ebene Geometrie des Euklid, sondern eine viel allgemeinere, die sogen. Riemannsche, die den unanschaulichen Begriff des „gekrümmten Raumes“

in sich beschließt. Der Krümmungsradius kann verschiedene Werte annehmen; ist er positiv, so haben wir es mit einer endlichen geschlossenen Welt zu tun (das anschauliche Analogon wäre eine Kugel), ist er negativ, so handelt es sich um einen unendlichen offenen Raum. Je kleiner der Krümmungsradius, desto stärker ist die Krümmung. Den Übergang vom positiven zum negativen Krümmungsradius bildet der Fall des ebenen Euklidischen Raums, in dem unsere Schulgeometrie gilt. Ein Weltmodell wird dargestellt durch Angaben über die Erfüllung mit Materie, Stabilität (Expansion oder Kontraktion) und Raumkrümmung.

Die Frage nach der Stabilität oder Instabilität wird durch die Rotverschiebung beantwortet, wenn wir sie als Fluchtbewegung deuten. Damit wird aus der Zahl der denkbaren Lösungen bereits eine scharfe Auswahl getroffen. Auskunft über Massenverteilung und Raumkrümmung bieten die Ergebnisse der Nebeldurchmusterungen, bei denen auf die durch die Methodik der Entfernungsbestimmung verfälschend einwirkende Rotverschiebung Rücksicht genommen werden muß. Dabei tritt ein Dilemma auf: Das theoretische Universum soll homogen sein, das beobachtete zeigt Zunahme der Nebeldichte in allen Richtungen nach außen. Die Diskrepanz löst sich, wenn die Raumkrümmung nicht wie bisher vernachlässigt wird. Es wird ein positiver Wert nahegelegt. Das Weltall ist also geschlossen und besitzt einen endlichen Raum und Masseinhalt. Der Krümmungsradius ergibt sich von der Größenordnung der heute zugänglichen Welt.

Eine Abschätzung des Weltradius läßt sich durch eine andere Beziehung finden, die ihn in einen gewissen Zusammenhang mit der Dichte der Materie in der durch ihn definierten Kugel bringt. Denkt man sich die Materie in den Welteninseln gleichmäßig über den Raum verteilt, so wird man auf einen Wert geführt, der viel kleiner ist als die Dichte in den Grenzgebieten des galaktischen Systems (10^{-25} g in einem Kubikzentimeter Volumen); auch etwa diffus verteilte Materie zwischen den Nebeln, die bisher übrigens nicht nachgewiesen wurde, kann den Wert nicht wesentlich erhöhen. Der oben gefundene Weltradius verlangt jedoch eine viel höhere Dichte. Der Widerspruch könnte durch einen viel kleineren Radius aufgehoben werden, der aber mit den Rotverschiebungen als Geschwindigkeitseffekt und anderen Erfahrungstatsachen unverträglich wäre. Vorläufig sieht es auch noch so aus, als erlügen wir der Gefahr einer Überbeanspruchung des Beobachtungsmaterials.

Man kann selbstverständlich versuchsweise die kinematische Deutung der Rotverschiebung aufgeben, aber welche Hypothese soll an ihre Stelle treten? Vorläufig ist jedenfalls kein Platz in der Physik für solche ad hoc ersonnenen Vermutungen, und wir müssen die Theorie des expandierenden endlichen Universums zunächst annehmen. Rechnet man mit der Expansionsgeschwindigkeit und dem gegenseitigen Abstand der Nebel bis zu dem Augenblick zurück, in dem das Weltall aus einem Gleichgewichtszustand die jetzt noch ablaufende Entwicklung angefangen hat — der Tatsache, eine ge-

wagte Extrapolation zu begehen, ist man sich bewußt — so wird man auf 2 bis 3 Milliarden Jahre in die Vergangenheit zurückgeführt, ein deshalb bemerkenswertes Ergebnis, weil man der Erde und dem Sonnensystem, wie oben bemerkt, aus geologischen Abschätzungen ein ähnliches Alter zusprechen muß, das auch aus Überlegungen über ihre Energievorräte den Sternen zukommt und das man schließlich auch für das Lebensalter des Milchstraßensystems anzunehmen hat. Die Expansionsgeschwindigkeit verringert sich mit der Zeit. Die Ausdehnung führt zu einer asymptotischen Verifizierung der de Sitterschen Lösung: Ein Weltall, in dem die Materie über unermessliche Räume verteilt ist, so daß es praktisch als leer angesehen werden kann, obwohl es nach der Lemaitreschen Rechnung rund 10^{22} Sonnenmassen oder 10^{12} Milchstraßensysteme enthält. Ob der Zustand vor dem Beginn der Expansion mit der jetzt geltenden Physik beschrieben werden kann, wissen wir nicht. Wir wissen auch nicht, ob der derzeitige Zustand in einer Katastrophe oder einer mehr stetigen Entwicklung seinen Anfang nahm. Vielleicht ist dieser Zeitpunkt überhaupt der erste im Sinne einer Zeitrechnung, also der zeitliche Anfang der Welt, denn Zeit ist nur da, wo etwas geschieht. Ohne Geschehen läuft keine Zeit ab, und damit wird auch die zeitliche Endlichkeit der Welt vom Physikalischen her zumindest nicht mehr aus dem Bereich des Vorstellbaren gewiesen.

Der Kardinalpunkt unseres Weltbildes im großen ist die Deutung der Rotverschiebung als Resultat einer Fluchtbewegung. Erweist sich diese Deutung eines der umfassendsten Probleme der Naturwissenschaften als falsch, so fallen alle Konsequenzen, und es wird zweifelhaft, ob der durchforschte Raum als repräsentativ für den ganzen, der sich unseren Augen unzugänglich bis in unermessliche Fernen erstrecken mag, gelten darf. Allgemein gesprochen, stehen wir an einer kritischen Stelle — letzten Endes deswegen, weil wir zu entscheiden haben, ob vom Endlichen eine Extrapolation so weit vorgenommen werden darf, daß sie vielleicht sogar ins Unendliche führen mag.

Umschau

VOM WIDERSTAND DER KIRCHE

1933—1945

Noch ist, von Stoff- und Dokumentensammlungen abgesehen, keine zusammenfassende Würdigung größeren Umfangs über die Haltung der Kirche gegenüber dem Nationalsozialismus in der Zeit von 1933—1945 erschienen. Der Abstand von den Ereignissen ist noch zu kurz, die Übersicht zu lückenhaft, die Vielfalt der aufzuwerfenden Fragen zu groß, als daß man heute schon eine abgewogene Darstellung des Kampfes der Geister in diesem kurzen und doch für die deutschen Geschicke so unheilvoll langen Zeitraum erwarten dürfte. Wann immer aber auch eine

solche Darstellung kommen wird — eines der wichtigsten und umfangreichsten Kapitel wird sich der Schilderung des Widerstandes zuzuwenden haben, der aus den Reihen der katholischen Kirche den Zwingherren Deutschlands durch zwölf lange, schwere Jahre hindurch geleistet worden ist.

Auch dieses Kapitel kann heute noch bei weitem nicht abschließend geschrieben werden, aber eine Reihe von Veröffentlichungen, die im Laufe der letzten Monate erschienen, wirft doch schon sehr bezeichnende Schlaglichter auf die Wahrheit, die für jeden Wissenden längst feststeht und die auch durch kein Forschungsergebnis der Zukunft in ihren Grundzügen erschüttert werden kann: