

# Himmelswissen

Der Himmel scheint, was er ist

Der Himmel ist nicht, was er scheint

(R.Gruber, 16. Nov. 2011)

Ich fühle mich geehrt, daß ich hier reden darf und stolz, daß ich in so einem schönen Projekt den Opponenten spielen darf. Wozu ich auch deshalb große Lust verspüre, weil es hier – wie bei allen Projekten von Helmar Schramm, an denen ich teilnehmen durfte, auch um die Vergewisserung meiner eigenen Disziplin geht.

Ich möchte mich mit der Natur des Übergangs befassen, dem die Himmelskartographie der frühen Neuzeit ihr partielles Scheitern verdankte.

Ich habe nicht viel Zeit, um herauszustreichen, was ich an Ihrem Projekt alles in höchstem Maße spannend finde, z.B. wenn Sie den theatralen Begriff des Scheiterns einbringen und die Himmelskartographie unter dem Gesichtspunkt ihrer theatralen Inszenierung untersuchen. Ich kann mich gut damit anfreunden, wenn Sie von einer zentralen Fragwürdigkeit der überkommenen imaginären Bildräume sprechen, die nun in vermessene Räume übergehen. Dreh- und Angelpunkt Ihrer These ist – wenn ich das richtig verstehe – der Charakter dieses Übergangs, der bei den Himmelskartographen Unsicherheit auslöst und auf den diese mit einer Strategie der theatralen Inszenierung antworten. Schwieriger wird es für mich, wenn Sie diese Unsicherheit einer Unentschlossenheit zuordnen, die sich nicht entscheiden könne, ob sie das geozentrische, tychonische oder heliozentrische Himmelssystem darstellen sollen, oder einer Hilflosigkeit gegenüber der Datenfülle der Beobachtungen und gegenüber der neuen Weite und Tiefe des Universums, die durch den Einsatz des Teleskops erzielt wird. Das Teleskop erscheint als Ermöglicher und als Symbol dieses Übergangs, gewissermaßen als sein paradigmatischer Kern, dessen Vermessungspotenz und Genauigkeit die überkommenen Räume „fragwürdig“ - im Sinne von suspekt - erscheinen läßt, und mit ihnen auch ihre Grundlage, die symbolisch-allegorischen Bezüge und – ich erlaube mir zu ergänzen – die damit verbundenen okkulten Vorstellungen, die schon gar keine Erwähnung mehr finden.

Ich habe mir überlegt, was mich am meisten an diesem Thema interessiert und wie ich mich als Opponent positiv einbringen kann und bin dabei bei eben diesem Topos der „Fragwürdigkeit“ gelandet. Einerseits, weil sie als Auslöser dieses Übergangs erscheint, andererseits, weil sie eine charakteristische Doppeldeutigkeit aufweist: „fragwürdig“ im Sinne von suspekt und „fragwürdig“ im Sinne von „des Fragens würdig“.

Und so möchte ich beginnen mit einem kurzen Abriss, was von den Gewißheiten, die das Teleskop versprach – die Vermessbarkeit des Raumes und seiner Objekte – im Verlaufe der Entwicklung nun seinerseits befragenswert geworden ist.

Und ich möchte nach diesem Abriß, der als Einführung gedacht ist und einen Rahmen abstecken soll, versuchen, meiner Rolle als Opponent gerecht zu werden, und also die These vertreten:

nicht das Teleskop spielte die entscheidende Rolle bei diesem Übergang, sondern das fragwürdige okkulte Wissen.

Das hängt damit zusammen, wie in diesem Zusammenhang der Topos der Fragwürdigkeit überhaupt erst zur vollen Entfaltung gelangte.

Ich behaupte:

Um den Charakter des Übergangs zu bestimmen, müssen wir uns mit der Rolle der Alchemie und des okkulten Wissens befassen.

## **Wissen wird fragwürdig**

Lassen Sie mich zuerst kurz umreißen, wie das, was damals in Frage gestellt hat, nämlich die Entstehung des Newtonschen Raums und der Objekte, die ihn bevölkerten, heute selber in Frage gestellt ist. |

Charakteristisches Kennzeichen dieses Raumes ist seine Vermessbarkeit, die ihm seine feste Bestimmtheit vermittelt gegenüber der paradoxen Form der imaginären Bildräume.

Dieser Raum beruht auf der Messung von Distanzen. Die einzige Information, die wir über diesen Raum erhalten können, und folglich unser einziger Maßstab, ist das Licht. Nun ist aber das Licht von äusseren Kraftfeldern abhängig, von der Gravitation. Es verläuft auf gekrümmten Bahnen, die von der Massenverteilung im Raum abhängen.

Das heißt, unser Massstab hängt von dem ab, was er messen soll! Der vermessene Raum ist selbst paradox geworden.

Mehr noch: die Allgemeine Relativitätstheorie besagt, daß die Metrik des Raumes – ein im Rahmen unserer Theorie unhintergebares Ingrediens des vermessenen Raumes, das festlegt, wie Vermessung funktionieren kann – identisch ist mit dem Gravitationsfeld.

Der Raum, der bei Newton die unbewegte Bühne abgab für Objekte wie Teilchen, Felder und Galaxien, ist selber zum Mitspieler geworden. Die Vorstellung einer Bühne löst sich auf.

Nicht anders erging es den festgefühten Objekten im Raum. | Ob es nun Elementarteilchen, Sterne, Galaxien oder Galaxienhaufen waren, alle wurden in der Vorstellung Newtons durch einen abstrakten Schwerpunkt repräsentiert, der es erlaubte, sie zu lokalisieren und ihre Bahnen zu berechnen.

Mit Maxwell kam ein neuer Typus von Objekten hinzu, Felder, wie das elektromagnetische Feld, die sich nicht mehr lokalisieren lassen. Seit der Quantenmechanik wissen wir, daß alle Teilchen, etwa das Neutron, Proton oder Elektron, unter gegebenen Umständen sich wie Felder verhalten und entsprechend alle Felder wie Teilchen. Die Vorstellung einer generellen Lokalisierbarkeit mußte aufgegeben werden.

Auch der genau bestimmte Objektbegriff läßt sich in bestimmten Situationen nicht aufrecht erhalten. Weder können den Elementarteilchen fest definierbare Eigenschaften zugesprochen werden, | noch lassen sich Messungen konzipieren, mit denen sich solche Eigenschaften unabhängig vom messenden Subjekt bestimmen ließen.

Die Vermessbarkeit der Welt ist nicht nur in der Makrowelt des Universums, sondern auch in der Mikrowelt der Elementarteilchen in Frage gestellt. |

## **Strings und Branes**

Für unsere Vorstellungen vom Kosmos haben diese Verschiebungen in der Mikrowelt ungeahnte Auswirkungen. Mit der Stringtheorie kamen fadenförmige statt punktförmiger Teilchen in die theoretische Welt. Als Superstringtheorie besagt sie, daß diese räumliche Welt nicht 3- sondern 9-dimensional ist.

Im Unterschied zu den punktförmigen Teilchen, die sich selbst genügen, haben fadenförmige Teilchen zwei offene Enden. Schliessen sich diese beiden Enden, haben wir automatisch das Graviton vor uns, das Teilchen, das die Wechselwirkung der Gravitation vermittelt; ein ungeheurer Glücksfall für die Theorie, da es bis dato unmöglich erschien, Einsteins Gravitationstheorie mit der Quantenmechanik zu verheiraten.

Neben Teilchen und Feldern ergibt sich ein neuer Typus eines dynamischen Objektes, eine sogenannte p-Brane, deren offene Enden die Freiheit haben, sich in einer beliebigen Anzahl von p Dimensionen innerhalb der 9 vorhandenen Dimensionen zu bewegen.

Diese Branes ermöglichen einen neuen Typ von Kosmologie, das ekpyrotische Modell, das vom heute allgemein akzeptierten Standardmodell der Kosmologie völlig abweichende Eigenschaften aufweist, nichtsdestotrotz aber nach Aussage der Autoren die Flut der vorhandenen Beobachtungsdaten aus allen zeitlichen Epochen und räumlichen Entfernungen in nahezu gleicher Weise zu repräsentieren vermag, wie es das Standardmodell so eindrucksvoll vorführt. Lediglich für die ersten Bruchteile von Sekunden nach dem Bigbang des Standardmodells zeichnet sich ein völlig anderes Bild ab: der Urknall ist nun kein Bigbang mehr, in dem Zeit und Raum ihren Anfang nehmen, sondern nurmehr ein Bang, eine Kollision zweier Branes, nach der sich ein kollabierendes Universum wieder ausdehnt. In diesem Universum haben Zeit und Raum keinen Anfang und kein Ende, das Universum selbst oszilliert in Raum und Zeit.

Wenn ich Sie so mit dieser Flut von Informationen überschwemme, so nicht, um sie gegenüber den atemberaubenden Entwicklungen der Physik verstummen zu lassen, sondern um einen Effekt zu beleuchten, der uns direkt an unseren Ausgangspunkt zurück führt.

Zum einen die Ungleichzeitigkeit von Wissen und Verständnis dieses Wissens: die Theorien, von denen ich eben geredet habe - nicht die Strings und nicht das ekpyrotische Modell, aber die Quantentheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie - sind nun nahezu ein Jahrhundert alt. Betrachten Sie Ihr Verständnis dieser Theorien und Sie vermögen nachzuempfinden, wie es den Menschen der Zeit, über die wir reden, mit der ungewohnten Gravitation ging und warum die Zeiträume, über die wir reden, Jahrhunderte umfassen.

Zum andern aber: betrachten Sie diesen explodierenden Reichtum, der sich auftut, wenn unter dem „Fragwürdigen“ das „des Fragens Würdige“ verstanden wird. Wenn die Natur als ein Wald voller Geheimnisse verstanden wird, die nur darauf warten, aufgespürt zu werden.

### **Die grundlegende Rolle des Okkulten**

Und damit kommen wir zur Rolle des Okkulten:

*Tycho Brahe*, mit dem die kostbare Sammlung von astronomischen Daten begann, die zur Grundlage der *Keplerschen* Ellipsen wurden und in ihrer Folge zum *Newtonschen* Gravitationsgesetz führten, war Astronom und Alchemist.

Isaac Newton - bereits ein gutes Jahrhundert später - dem wir das Gravitationsgesetz verdanken, das - nach der vorausgesagten Verschiebung der regelmäßigen Wiederkehr des Halley'schen Kometen durch Clairaut - zu dem Paradigma eines naturwissenschaftlichen Gesetzes avancierte, war von der hermetischen Philosophie geprägt und beschäftigte sich intensiv mit Alchemie.

Rudolf II., an dessen Hof Tycho Brahe und Kepler ihre Erkenntnisse gewannen, galt als der bedeutendste Liebhaber und Förderer okkultur Wissenschaften in Europa.

Das verweist auf einen tiefen inneren Zusammenhang zwischen den neuen Erkenntnissen und dem Okkultismus. |

Zur selben Zeit, als Tycho Brahe seinen Berg von Beobachtungsdaten über die Positionen der Sterne und die Bewegungen der Planeten zusammen trug, flutete eine Welle von Literatur über „Secreti“, über Geheimnisse, den ganzen Kontinent Europa. (alles folgende s. William Eamon, *Science and the Secrets of Nature*, Princeton University Press., Princeton 1994)

Auf den ersten Blick erscheinen diese Bücher wie ein Kraut- und Rüben-Sammelsurium von Rezepten und Handlungsanleitungen für medizinische, technische, gärtnerische oder viehzuchttechnische Experimente, mit einer wilden Mischung aus Magie, Alchemie und empirischem Wissen.

Obwohl *liberi secretorum* bereits in der Antike und das ganze Mittelalter hindurch bekannt waren, traf 1555 die erste Ausgabe der „*Secreti*“ von Alessio Piemontese einen Nerv der Zeit. Sie erreichte eine ungeahnte Zahl an Neuauflagen, verbreitete sich in ganz Europa und fand zahlreiche Nachahmer. Bereits 30 Jahre nach der ersten Herausgabe, im Jahre 1885, wurde in einer Zusammenstellung von Berufen die Autoren dieser Traktate als eigener Berufsstand geführt: die „*Professori dei Secreti*“.

Alessio's „*Secreti*“ erreichte 17 Auflagen in den ersten 4 Jahren seines Erscheinens und wurde ins Französische, Englische, Lateinische, Holländische, Deutsche, Spanische und Polnische übersetzt.

Bis 1600, ein Jahr vor Tycho Brahes Tod, sind es 70 Auflagen und weitere 34 Auflagen folgen im 17. Jahrhundert.

Die Bücher erreichten diese hohen Auflagen, weil sie sich in direkten Gegensatz zur vorherrschenden scholastischen Philosophie setzten. Diese betrachtete nur die sichtbaren Qualitäten als real und schloss alle okkulten, verborgenen Eigenschaften aus dem Bereich des Wissens aus, mit der Begründung, daß diese allein Gottes Allmacht vorbehalten seien. Die neue Philosophie machte die Erklärung dieser okkulten Eigenschaften zum Hauptgegenstand ihres Interesses. Das Konzept des „Geheimnisses“, der Idee, daß die Mechanismen der Natur unter der äußeren Erscheinung der Dinge verborgen waren, war die Grundlage für den unbedingten Drang nach aktivem Experimentieren und disziplinierter Beobachtung, um den Dingen auf den Grund zu kommen. Die verborgenen Mechanismen, so die Vorstellung, hinterließen Spuren, die es aufzufinden galt, wie der Jäger im Wald aus minimalsten Anzeichen – einem geknickten Halm, ein Stückchen Kot – auf die Anwesenheit des Wildes schließt.

Das Konzept der Wissenschaft als einer „*venatio*“, einem Kampf des Menschen mit einem wilden Tier, eroberte die höfische Wissenschaft. Im Gegensatz zur scholastischen Auffassung, die beobachtete Tatsachen nur als Belege für die Gültigkeit des schon Bekannten - innerhalb der formalen Grenzen der scholastischen *Ratio* Definierten - zuließ, betrachtete die neue Philosophie die Natur als ein unkartiertes Territorium, ein Attraktikum wie die kurz zuvor entdeckte Neue Welt.

Den unterschiedlichen Bildern der Wissenschaft – die eine als logische Demonstrationsveranstaltung, die andere als eine Jagd – entsprachen radikal unterschiedliche Bilder der Natur. Die eine eine geometrische Welt, geschaffen von Gott nach der Devise '*Maß, Zahl und Gewicht*' (*numero, pondere et mensura*), deren wesentliche Eigenschaften bereits durch die Vernunft allein erkennbar waren. Die andere ein dichter Wald, ein unkartiertes Gebiet, ein Labyrinth, in dem eine vorgefertigte Methode dem Jäger nur wenig helfen konnte, sich zu orientieren.

Ich habe hier das Gefühl, Eulen nach Athen zu tragen, denn die großen Experten für bspw. die Kunstkammern Rudolfs II. sitzen an diesem Institut – ich hatte die große Ehre, an der Konferenz über Kunstkammern, Laboratorien und Bühnen teilnehmen zu dürfen -. Aber für einen Naturwissenschaftler ist es von großer Bedeutung, sich diesen methodisch gezielt unsystematischen Charakter seiner Herkunft bewußt zu machen.

Um es kurz zu machen: Giambattista Della Porta, die größte europäische Autorität unter den *Professori dei Secreti*, wurde, nachdem Rudolf II. ihm mehrfach, 1597 und 1604, seine Übersiedlung nach Prag angetragen hatte, das 5. Mitglied der *Accademia dei Lincei*, einer Akademie, die sich das Anliegen der *Professori dei Secreti* zum Programm gemacht hatte.

Ihr 6. Mitglied wurde - ein Jahr später, 1611 - Galileo Galilei. Deutlicher läßt sich kaum manifestieren, daß diese Bewegung zur Erforschung der okkulten Geheimnisse die Grundlage für die moderne Naturwissenschaft legte.

Gegen alle kirchliche Verdammung der Neugier hat diese Bewegung neu definiert, was fragwürdig ist, und hat den Blick auf die okkulten, verborgenen Mechanismen der Natur gerichtet, die es zu entschlüsseln galt. Die neu eroberte Fragwürdigkeit der okkulten Eigenschaften der Natur wurde zur epistemologischen Grundlage der neuen Wissenschaft; es war dies das Begreifen dieser okkulten Eigenschaften als eines Schatzes, der der Natur nutzbringend durch sorgfältige Analyse der äußeren Spuren abgejagt werden konnte.

Wir sind hier bei einer grundlegenden Schwierigkeit der Himmelskartographen angelangt: während sich die Kartographen mühten, zum Zwecke der Orientierung das Manifeste zu dokumentieren, rückte mit der Bewegung des Okkultismus das Verborgene ins Zentrum des Interesses.

Aber um die Schwierigkeit der Himmelskartographen voll verstehen zu können, ist ein zweiter Schritt notwendig, nämlich, den Übergang von Della Porta zu Galilei zu verstehen.

### **Der Schritt von Della Porta zu Galileo**

Das von Galilei eingebrachte Teleskop wurde von den Mitgliedern der Akademie als perfektes Symbol angesehen für das eindringliche Sehvermögen des Luchses, den sie in den Namen ihrer Akademie aufgenommen hatten, und für die gesteigerten Möglichkeiten des menschlichen Intellektes.

Die Bewegung des Okkultismus hat den Blick auf die Geheimnisse gelenkt, und das Teleskop hat es ermöglicht, diesen Blick zu schärfen. Aber um die Spuren, die diese Geheimnisse im Unterholz hinterlassen, richtig zu interpretieren, war es nötig, die Sprache der Natur zu verstehen. |

Die reichste Mitgift, die Galilei einbrachte, war nicht das Teleskop, wiewohl dieses von immenser aktueller Nützlichkeit war. Es war die Mathematik, die Galileo einbrachte als wichtigstes Mittel, um die okkulten Zusammenhänge zu verstehen.

### **Galileo und die Mathematik**

Galileo (1564-1642) hielt den Lehrstuhl für Mathematik (!) in Padua. Seine Ausbildung erhielt er bei Ostilio Ricci, einem Gelehrten aus der Schule des berühmten Niccolò Fontana Tartaglia (1500-1557), der durch seine erstmaligen italienischen Übersetzungen der wichtigsten griechischen Mathematiker Archimedes und Euclid wesentlich zum Bekanntwerden der griechischen Mathematik in seiner Zeit beigetragen hatte.

Tartaglia war übrigens nicht nur Mathematiker; er war Rechnungsführer der Republik Venedig, die seit dem 13. Jahrhundert Welthandelsmacht Nr.1 war und auch in ihren inneren Beziehungen sehr früh und stark marktvermittelt war.

Galileo steht für die neue Befassung mit der griechischen Mathematik und mit ihrer Anwendung auf die Beobachtung der Natur. Seine Ausführungen im Essay 'Saggiatore' von 1623 kommen einem Manifest gleich:

*„Philosophie ist in jenem großen Buch niedergeschrieben, das stets vor unseren Augen aufgeschlagen liegt (ich meine das Universum), doch wir können es nicht verstehen, wenn wir nicht zuerst die Sprache lernen und uns die Buchstaben aneignen, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die es für Menschen unmöglich ist, auch nur ein einziges seiner Worte zu verstehen, und ohne die man vergebens in einem dunklen Labyrinth wandert.“* (Prüfer mit der Goldwaage, „The Assayer“)

(Pikanterweise vertrat Galileo in diesem Essay gegen die richtige Theorien eines Jesuiten, der sich auf die Methode von Tycho Brahe berief, die falsche These, dass die Kometen zwischen Mond und Erde anzusiedeln seien. (Livio, Mario, Is God a Mathematician? 2010,76)) Eigene Übersetzung des englischen Textes aus (Livio 2010,76)

### **Die Schwierigkeiten der Himmelskartographen**

Von hier aus sind die Schwierigkeiten der Himmelskartographen erst richtig zu verstehen. |

Sie bestanden nicht in der Fülle der Daten. Die Daten von Tycho Brahe ließen sich elegant in der Kepler'schen Ellipse zusammenfassen.

Sie wurden auch nicht durch das Teleskop ausgelöst. Tycho Brahe bspw. war der letzte der Astronomen, der seine Beobachtungen mit bloßem Auge durchführte.

Die Kartographie verlor einerseits in dem Maße ihre visuelle Aussagekraft, als sich das Augenmerk auf okkulte, verborgene Zusammenhänge verschob; Zusammenhänge, die oft nur unmerklich kleine Spuren hinterlassen. Und zum Zweiten konnte sich ihre visuelle Sprache nur schwer gegen die abstrakte Sprache der Mathematik behaupten; nur in dieser aber waren die Spuren lesbar.

Vielleicht kann man sagen, daß für die Kartographen der damaligen Zeit wohl eher charakteristisch war, daß äußere Erscheinungen gerade dann in eine Karte aufgenommen werden, wenn sie markant im visuellen Sinne waren. Für die Himmelskartographen war erstens in der Bedeutung, die das Okkulte gewann, und zweitens in der Bedeutung, die die Mathematik für die Deutung der Spuren des Okkulten gewann, das Scheitern angelegt, von dem die Rede ist.

## Himmelskartographie heute

Was in der Himmelskartographie der damaligen Zeit als Tendenz angelegt war, lässt sich an den heutigen Himmelskarten deutlich ausgeprägt nachlesen. Um das zu verstehen, ist allerdings eine kleine Einführung notwendig über die Methoden und Objekte der heutigen Astronomie.

Das folgende Bild zeigt eine Aitoff-Projektion des Himmels: Eingetragen sind die Ursprungsorte aller Quellen von Röntgenstrahlen. Aufwendige Computerprogramme haben sie aus den Photonen berechnet, die im Verlauf eines halben Jahres das Teleskop und den Detektor des Satelliten ROSAT erreichten. Die Quellen sind nach Größe und Farbe markiert, je nachdem, wie intensiv und wie energiereich sie sind. Dieser Katalog stellte damals einen qualitativen Sprung in den Möglichkeiten der Röntgenastronomie dar.

Astron. Astrophys. 349, 389–405 (1999)

ASTRONOMY  
AND  
ASTROPHYSICS

## The ROSAT all-sky survey bright source catalogue

W. Voges, B. Aschenbach, Th. Boller, H. Bräuninger, U. Briel, W. Burkert, K. Dennerl, J. Englhauser, R. Gruber, F. Haberl, G. Hartner, G. Hasinger\*, M. Kürster\*\*, E. Pfeffermann, W. Pietsch, P. Predehl, C. Rosso, J.H.M.M. Schmitt\*\*\*, J. Trümper, and H.U. Zimmermann

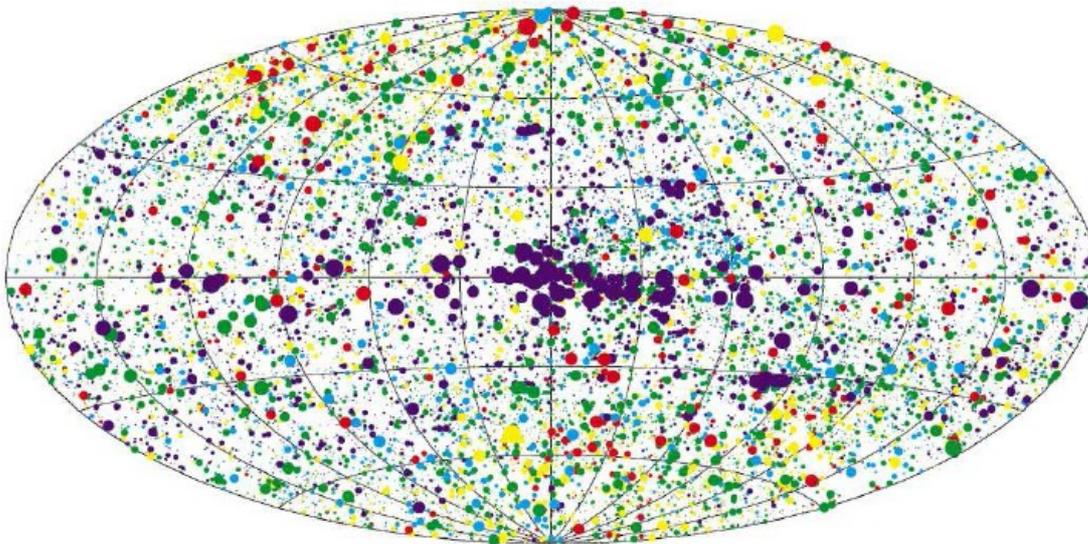
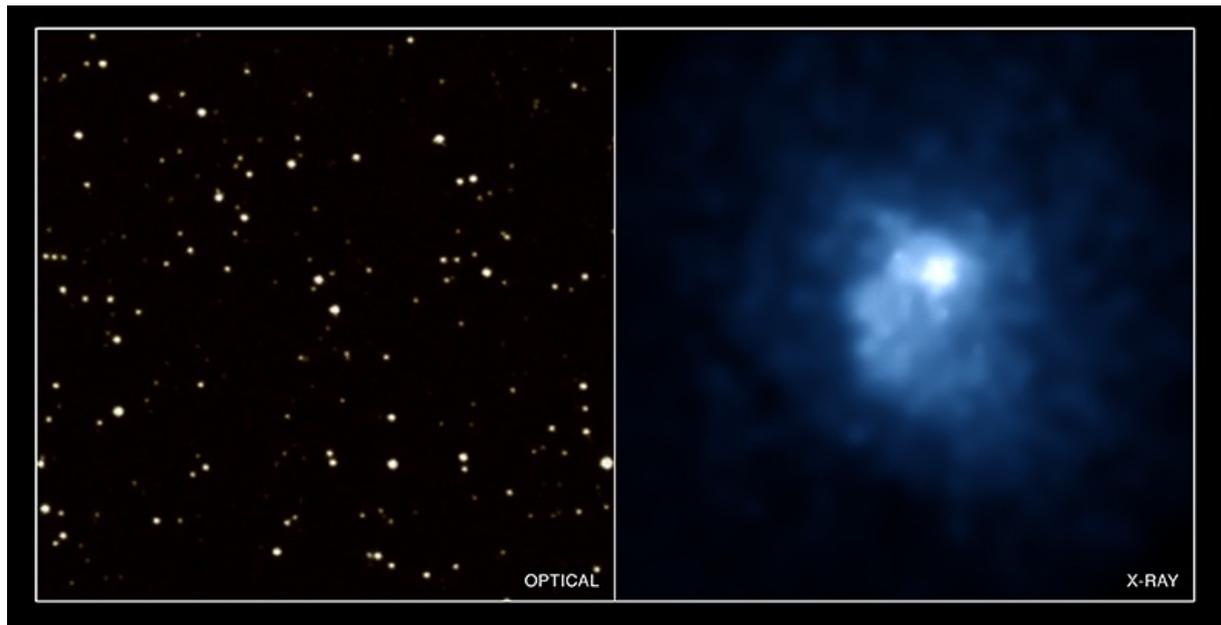
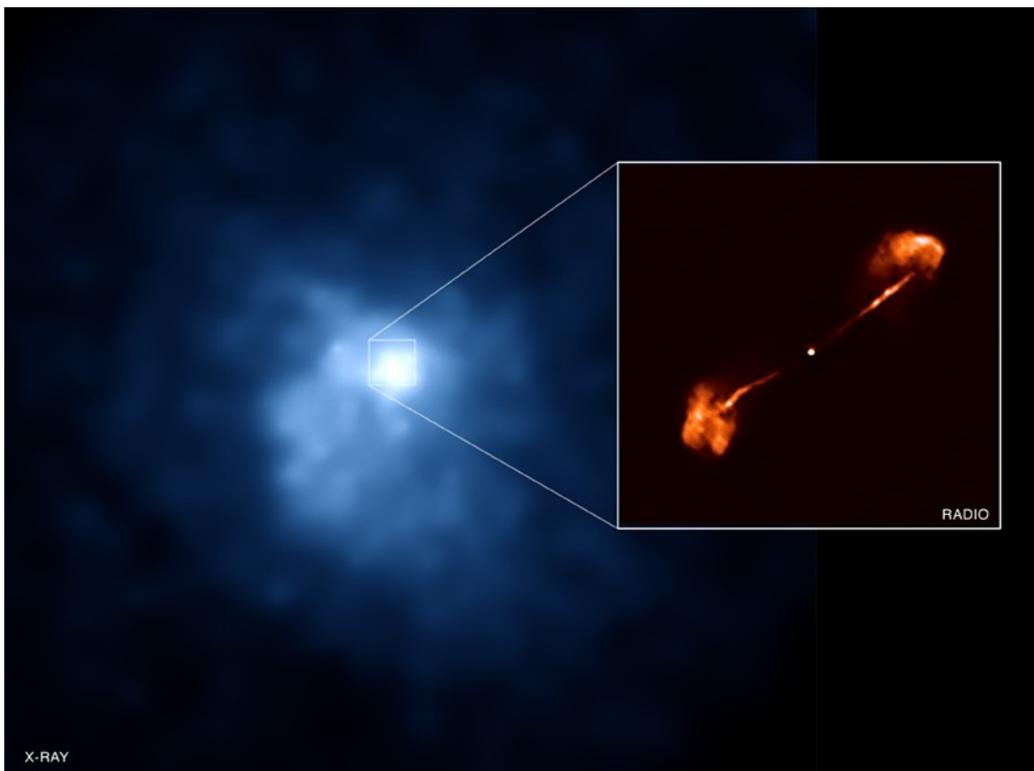


Fig. 5. Aitoff projection of the distribution of all RBSC sources obtained in the ROSAT All-Sky Survey observations until August 13, 1991 in galactic coordinates. The size of the symbols scales with the logarithm of the count-rate and the colours represent 5 intervals of the hardness ratio HR1: red ( $-1 \leq \text{HR1} < -0.6$ ); yellow ( $-0.6 \leq \text{HR1} < -0.2$ ); green ( $-0.2 \leq \text{HR1} < 0.2$ ); blue ( $0.2 \leq \text{HR1} < 0.6$ ) and violet ( $0.6 \leq \text{HR1} \leq 1.0$ ).

Um einen Eindruck zu geben, was unter solchen Röntgenquellen zu verstehen ist, zeigt das nächste Bild einen Himmelsausschnitt im sichtbaren Licht (links, aufgenommen vom Hubble Space Telescope) und denselben Ausschnitt, wie er im Röntgenlicht gesehen wird. Die Röntgenaufnahme (rechtes Bild) enthüllt, daß der Haufen von Galaxien, genannt 3C648, in einer riesigen Gaswolke schwimmt, deren Temperatur Millionen Grad beträgt, sodaß sie im Röntgenlicht sichtbar wird. Ein völlig anderes Bild des Himmels. Die Masse der Gaswolke ist wesentlich schwerer als die der in ihr schwimmenden Galaxien.



Ein Blick durch ein Radioteleskop liefert wiederum ein gänzlich anderes Bild (eingeschobener Ausschnitt):



Demnach stößt ein Schwarzes Loch im Zentrum des Galaxienhaufens zwei riesige Jets aus, bestehend aus energiereichen Elementarteilchen, die in hunderttausenden von Lichtjahren Entfernung intergalaktische Gaswolken erhitzen.

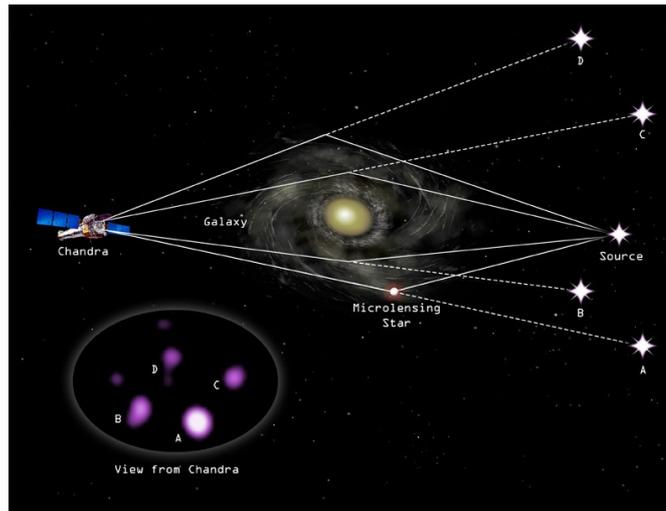
Diese Bilder dokumentieren die immense Entwertung, die der Bereich der sichtbaren Wellenlängen erfahren hat. Er ist nur noch ein Bereich unter anderen, jeder vermittelt ein jeweils völlig anderes Bild des Kosmos.

Ein weiteres Beispiel für eine partielle Irreführung des visuellen Eindrucks demonstriert die Kollision zweier Galaxienhaufen, das vermutlich energiereichste Ereignis seit dem Big Bang. Quelle dieser Irreführung ist die Existenz von Dunkler Materie.



Der Hintergrund wird von Galaxien gebildet, die vom *Hubble Space Telescope* und von *Magellan* im Optischen entdeckt wurden. Nach der Kollision fliegt das rötlich eingefärbte Gas, das *Chandra* im Röntgenlicht entdeckte, in der rechten Hälfte des Bildes nach rechts - sichtlich gebremst und geschossartig verformt durch Reibung und retardiert gegenüber der blau angezeigten dunklen Materie, die keine Reibung kennt und deshalb schon viel weiter ist.

Dunkle Materie gibt sich beispielsweise zu erkennen über sog. Gravitationslinsen, ein Phänomen, das von Einstein schon früh vorhergesagt wurde und das inzwischen zum Standardrepertoire der Vermessung des Weltraums gehört. Licht wird von Materie angezogen und eine große Ansammlung von Materie kann den Weg des Lichts derart krümmen, daß diese eine Linsenwirkung entfaltet, wie das folgende Bild schematisch zeigt:



Vier von einer Röntgenquelle, rechts im Bild, ausgestrahlte Röntgenstrahlen werden von der Galaxie, die im Blickfeld des links im Bild stationierten Röntgensatelliten *Chandra* liegt und ihm den direkten Blick auf die Röntgenquelle verwehrt, so um die Galaxie herumgebogen, daß es für das Teleskop aussieht, als kämen sie aus vier verschiedenen Richtungen und demzufolge von vier verschiedenen Objekten. Der Einschub links unten zeigt das Bild, wie es *Chandra* erscheint. Nur durch den Vergleich der optischen Spektren der vier Objekte läßt sich erschließen, daß die vier Objekte identisch und ihre Vielfalt eine durch die Linse hervorgerufene Täuschung sind.

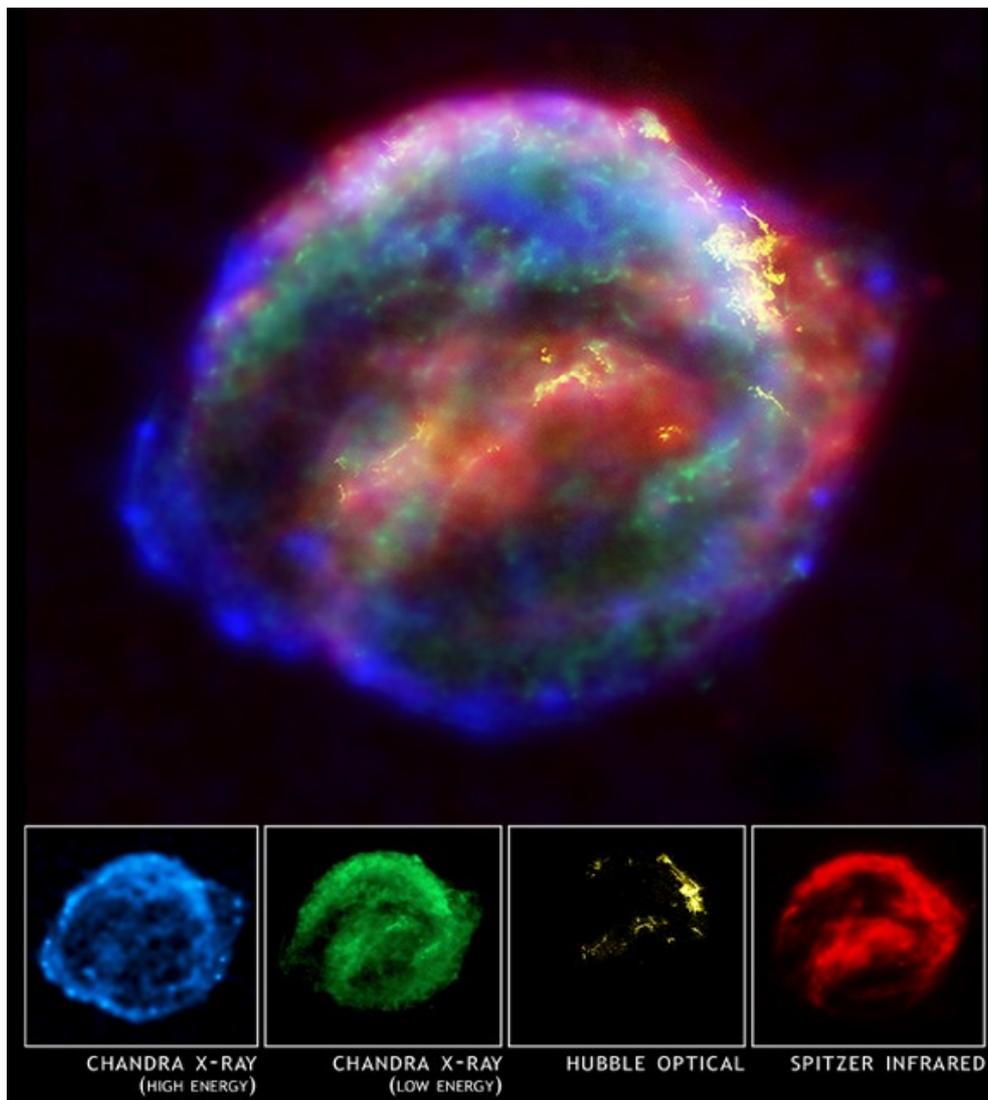
Das folgende Bild, in dem sich zahlreiche Linsenwirkungen eines Galaxienclusters feststellen lassen, vermittelt einen Eindruck von der Schwierigkeit der Aufgabe, die gemessenen Bilder korrekt zu interpretieren.



Der Nutzen einer Himmelskarte wie der von ROSAT liegt darin, daß sie im Verein mit Entfernungsbestimmungen, die aus ihrer optischen Rotverschiebung gewonnen werden, eine räumliche Verteilung von Galaxien-Clustern liefert. Diese läßt wichtige Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung des Kosmos zu, denn der Blick auf weite Entfernungen bedeutet im Kosmos einen Blick zurück in seine Vergangenheit.

Auf diese Weise spielen also für die Kosmologie neben der Differenzierung nach Wellenlängenbereichen auch Objektklassen eine wichtige Rolle. Neben den Galaxienclustern sind das insbesondere die Supernovae eines bestimmten Typs, „Ia“, die aufgrund ihrer einem immer gleichen Muster folgenden Entstehung geeignet sind, als Standardkerzen zu dienen.

Der Zufall will es, daß Tycho Brahe 1577 Augenzeuge einer nach ihm benannten Supernova wurde und daß nur wenige Jahrzehnte später (1604) auch Kepler eine nun nach ihm benannte Supernova miterleben durfte, während seither keine mit unbewaffnetem Auge sichtbare Supernova mehr erschienen ist. Die folgende Abbildung zeigt die Explosionswolke der Supernova, die damals Kepler als einen hell leuchtenden Punkt beschrieb, wie sie 2004 in einer Überlagerung verschiedener Wellenlängen erscheint (die Farben sind lediglich zwecks besserer Unterscheidbarkeit gewählte Falschfarben).



Die aus zahlreichen kleinen Einzelkarten (s. folgendes Bild) erschlossene Lage dieser Supernovae am Himmel (die gezeigten Beispiele enthalten grafische Markierungen der als Referenz benutzten Quellen) im Verbund mit einer aus ihrer Rotverschiebung ermittelten Distanz erlaubte es, ähnlich dem der Röntgenquellen auch einen Katalog von Supernovae zu erstellen. Die so erhaltene räumliche Verteilung dieser als Standardkerzen betrachteten Supernovae Ia lieferte erstmals ein Indiz für eine beschleunigte Expansion des Universums.

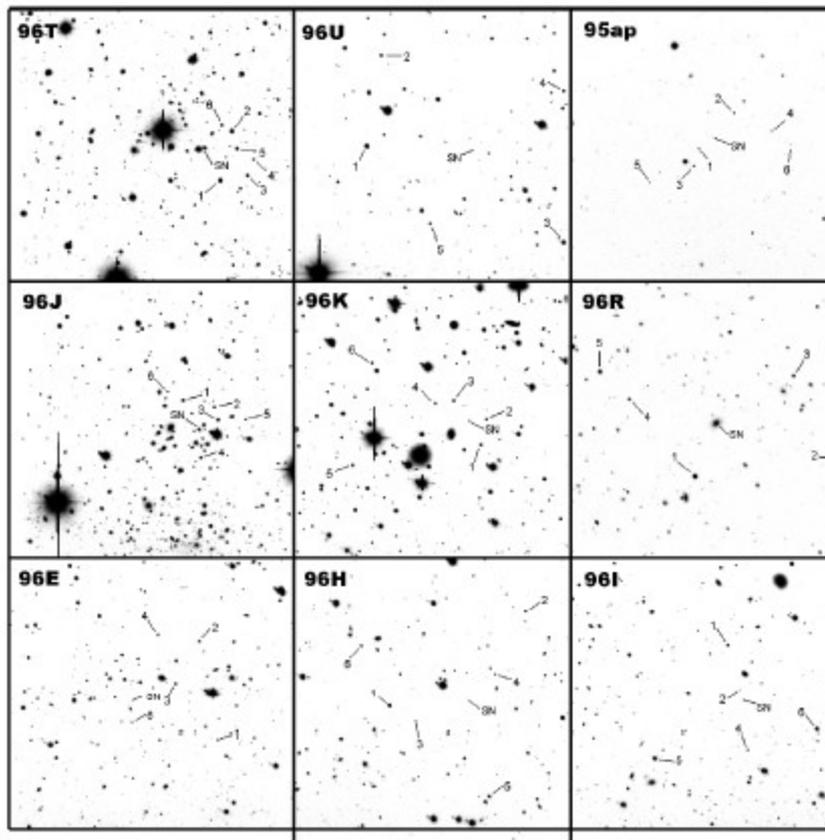
THE ASTRONOMICAL JOURNAL, 116:1009–1038, 1998 September  
 © 1998. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

### OBSERVATIONAL EVIDENCE FROM SUPERNOVAE FOR AN ACCELERATING UNIVERSE AND A COSMOLOGICAL CONSTANT

No. 3, 1998

EVIDENCE FOR AN ACCELERATING UNIVERSE

1017

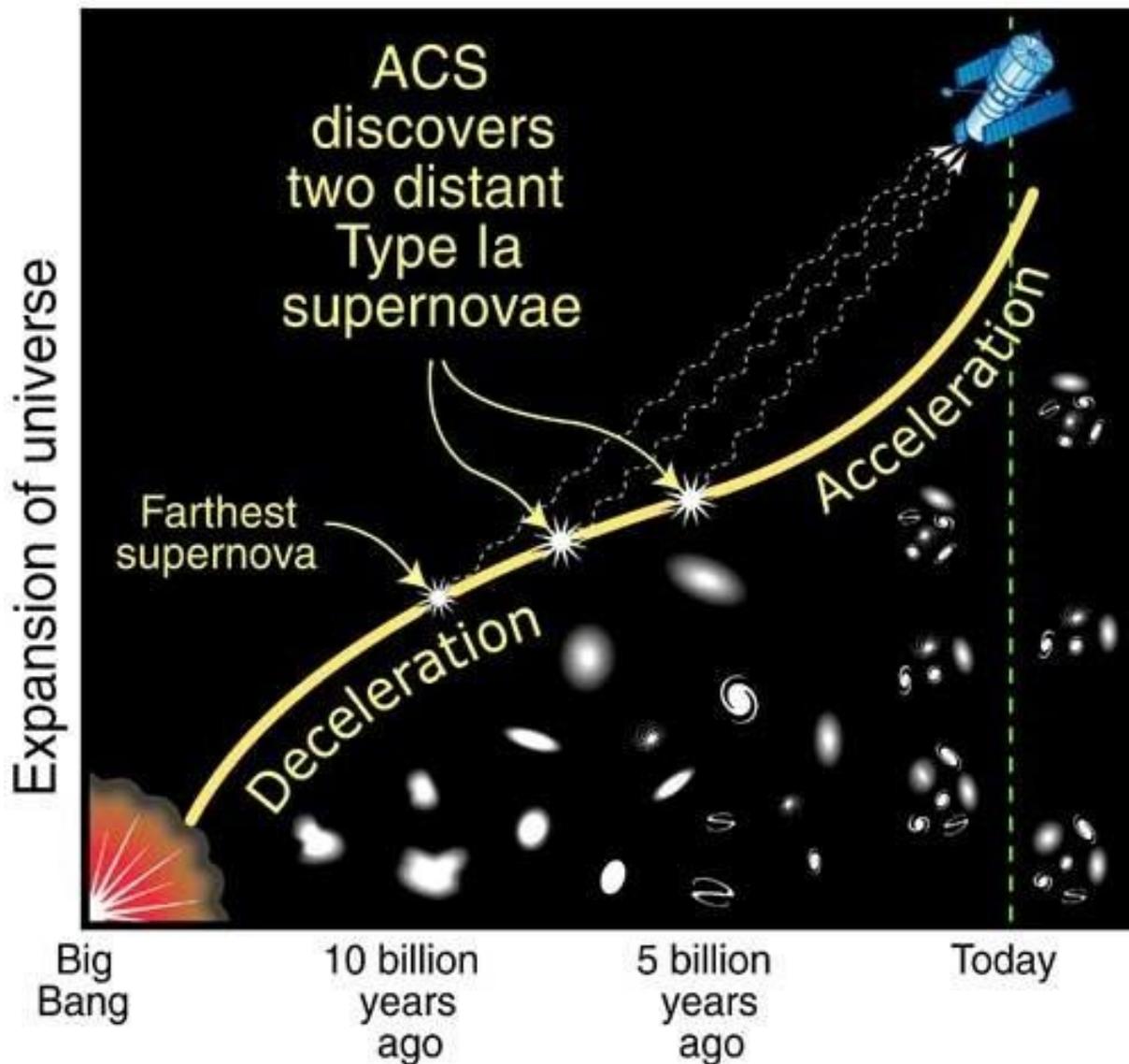


Nach 6 Milliarden Jahren einer im BigBang ausgelösten, aber aufgrund des bremsenden Einflusses der Gravitation zunehmend verlangsamt Expansion des Universums, wandelte sich die Abbremsung in eine Beschleunigung. Dieser Umschlag wird interpretiert als Resultat einer als Dunkle Energie bezeichneten Einflußgröße mit abstoßender Wirkung (statt der anziehenden Wirkung der Gravitation), die ab dieser Zeit dominant wurde.

Diese dunkle Energie entspricht einer zu einiger Berühmtheit gelangten (und im Titel der oben wiedergegebenen Veröffentlichung angesprochenen) Kosmologischen Konstanten, die Einstein in seine Gleichungen der

Allgemeinen Relativitätstheorie einfügte, um die von diesen vorhergesagte und damals auch von ihm als unrealistisch betrachtete Expansion des Universums zu vermeiden; ein Schritt, den er später als seine „größte Eselei“ bezeichnete, der nichtsdestotrotz heute zu unverhofften Ehren kommt.

Die folgende Grafik zeigt schematisch den Verlauf der Expansion des Universums über eine Zeitskala vom Urknall (links) bis zum Zeitpunkt der Beobachtung durch heutige Teleskope (rechts),



Bereits aus diesen wenigen Beispielen lässt sich der zwar anhaltende Gebrauch von Himmelskarten ablesen, die nach wie vor für grobe Orientierungen Verwendung finden. Gleichzeitig fällt jedoch ihr hoch spezialisierter und vor allem wenig spektakulärer Charakter auf. Spektakulär ist das, was sich aus den Spuren erschließen lässt.

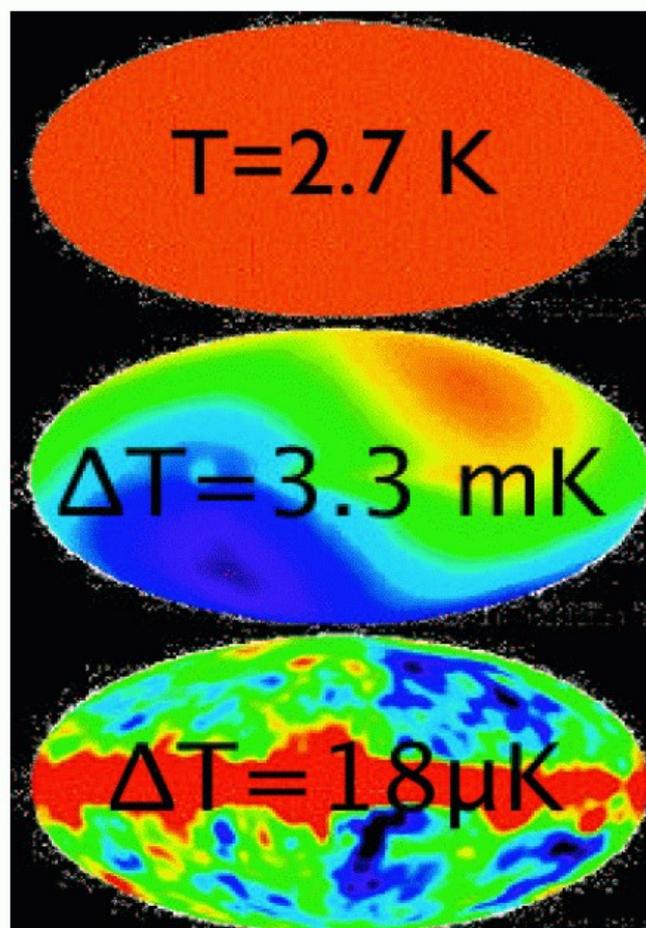
Dem entspricht der starke Bedeutungsverlust, den der visuelle Zugang erlitten hat. In wieder und wieder gefilterter und umgeschichteter Sequenz bieten sich die Beobachtungsdaten dem unmittelbaren Zugriff der Auswertungsprogramme an, ohne den Umweg über Himmelskarten zu nehmen.

Zum Abschluss soll diejenige Himmelskarte folgen, die am spektakulärsten den Wandel zum Ausdruck bringt, um den es mir hier geht: von einer Karte, die manifeste, markante Blickpunkte zeigt, hin zu einer Karte, die winzigste Spuren aufweist, aus denen sich dem Jäger ein ganzes Universum erschließt, wenn er, wie es Galilei formuliert, dessen Sprache, die Sprache der Mathematik, versteht.

Nirgends läßt sich das deutlicher in Augenschein nehmen als bei der Kartierung der sog. Kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung, einer Strahlung, die ca 380 000 Jahre nach dem BigBang, sozusagen direkt vor seiner Haustüre, entstand und seither gleichmäßig das Universum erfüllt.

Gleichmäßigkeit war von der Theorie gefordert, denn das heiße Plasma, dem diese Strahlung kurz nach dem BigBang entkam, konnte keine Richtung auszeichnen. Andererseits mußten aber winzige Inhomogenitäten vorhanden sein, sozusagen die Keime der Zusammenballungen der Materie zu Sternen und von Sternen zu Galaxien und zu den Galaxienhaufen, die wir heute beobachten.

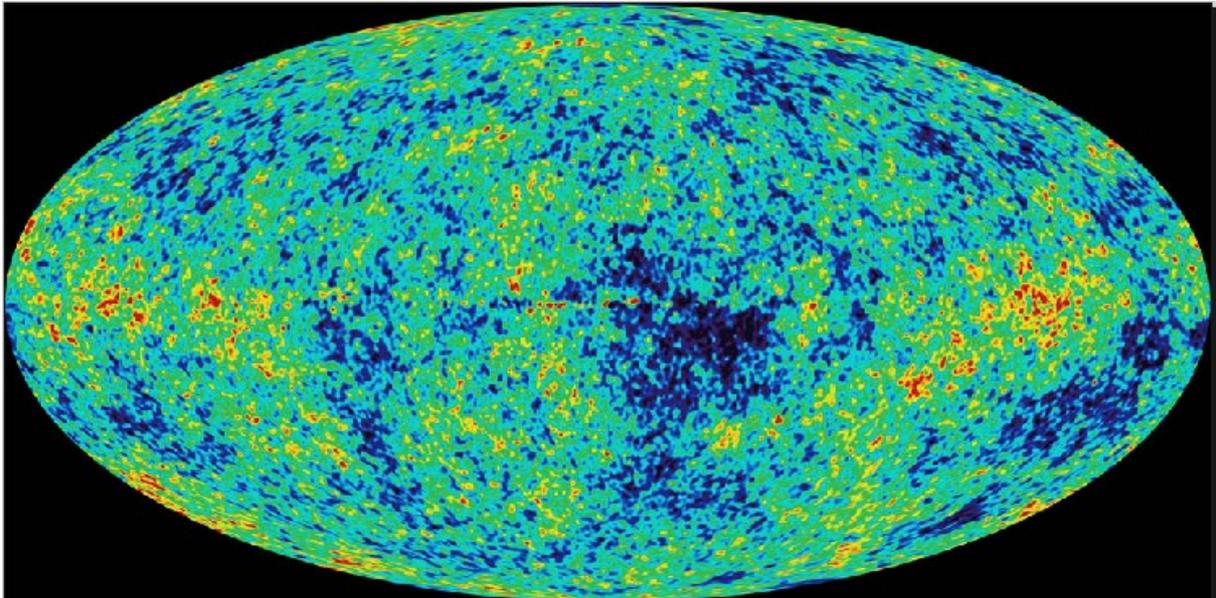
Die ersten, vom Satelliten COBE in den Jahren 1989-93 aufgenommenen Bilder dieser Strahlung wiesen tatsächlich wie erwartet eine absolut gleichmäßig Temperaturverteilung auf, keinerlei Unregelmäßigkeit ließ sich erkennen, die irgendeine Information hätte vermitteln können (oberste Karte).



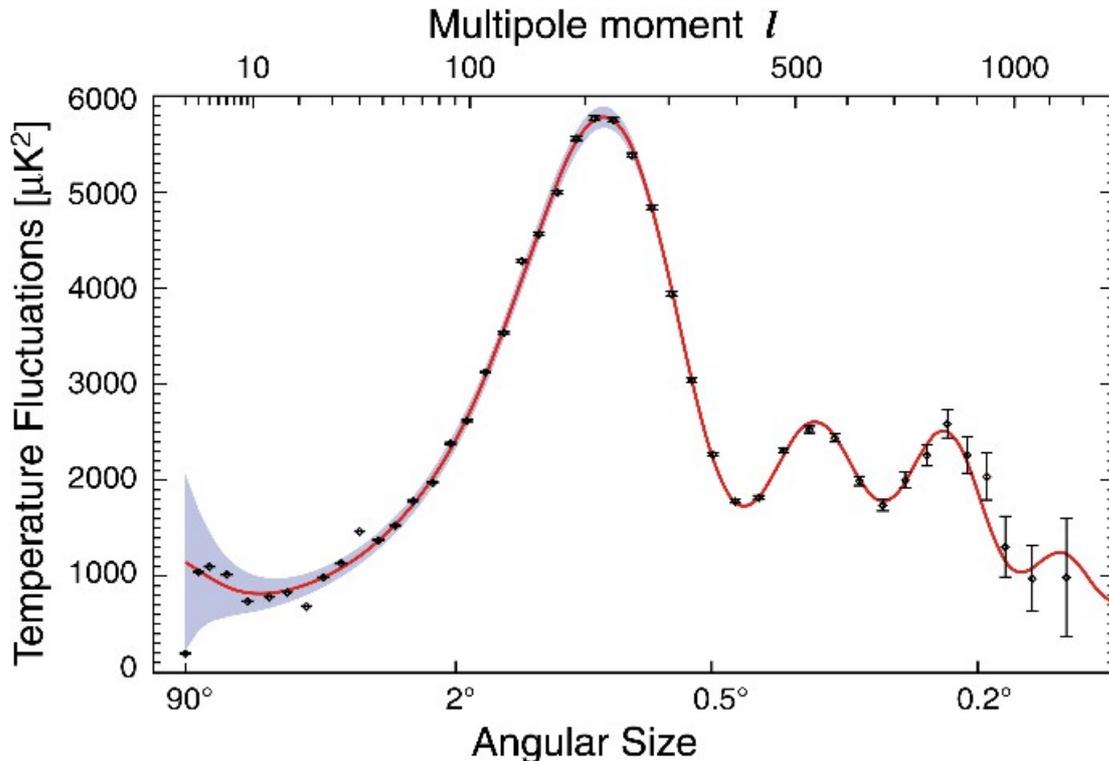
Als die Wissenschaftler es schließlich schafften, Abweichungen in der Größenordnung von milliKelvin, also Tausendstel Grad zu messen, stellten sie erste Abweichungen von der Isotropie fest, eine Täuschung, denn dieser Effekt beruht lediglich auf dem Umstand, daß sich die Erde gegen die Strahlung bewegt (mittleres Bild) . Erst bei einer Genauigkeit von

Millionstel Grad zeigten sich erste Inhomogenitäten , verfälscht noch durch die Galaxie, aus der heraus wir beobachten (breiter roter Streifen im unteren Bild).

WMAP, 2001 gestartet, der wesentlich empfindlichere Nachfolger von COBE, gestattete erstmals, ein Bild zu erstellen, das von Einflüssen sowohl der Eigenbewegung der Erde als auch der Milchstraße selbst bereinigt war:



Diese wirklich unspektakuläre Himmelskarte zeigt das chaotische Flimmern der Strahlung, die entstand, als das heiß-wirbelnde Plasma des Bigbang sich soweit abgekühlt hatte, daß es Photonen erstmals gelang, sich ungestört durch den Kosmos zu bewegen. Die Farben geben Schwankungen von einigen Millionstel Grad in der Temperatur der Kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung wieder. Und nun kommen wir zum Jäger, der aus winzigsten Spuren liest: das nächste Bild zeigt die mathematische Auswertung:



Die mathematische Analyse der Schwankungen, auf die hier nicht im Einzelnen eingegangen werden soll, entwirft ein äußerst facettenreiches Bild, das bemerkenswerte Rückschlüsse auf Struktur und Entwicklung des Universums zulässt. Die rote durchgezogene Linie zeigt die theoretische Erwartung, die schwarzen Kreuze zeigen die von WMAP im Verlauf von sieben Jahren gemessenen Werte.

Das Muster der Peaks repräsentiert sogenannte "akustische" Oszillationen des heißen Plasmas nach dem Bigbang. Die Lage der Peaks liefert Aufschluss über die geometrische Struktur des Universums und seine Zusammensetzung.

Der Peak bei  $l=200$  bedeutet: das Universum ist flach. Die Erhöhung der Amplitude des 3. Peak gegenüber dem 2. Peak ist direkte Evidenz für die Existenz dunkler Materie. Die von Peak zu Peak jeweils abwechselnd erhöhte u. erniedrigte Amplitude ist eine Folge der Baryonen, d.h. der Materie, aus der wir gemacht sind. Auch die starke Dämpfung der Oszillationen ab dem 3. Peak hat bekannte physikalische Ursachen.

Das Ergebnis, das die Jäger aus den Spuren lesen, ist spektakulär: nur 4 % des Universums sind aus dem Stoff, aus dem wir gemacht sind; zu 73% besteht es aus dunkler Energie, zu 23% aus dunkler Materie. Von beiden wissen wir nicht, aus was sie bestehen.

Offenbar feiert das Okkulte Triumphe. Gegenüber einem manifesten Äußeren dominiert nun das verborgene Innere, aufgespannt in einem Netz mathematischer Zusammenhänge. Und als gleißender Sehnsuchtpol wissenschaftlicher Begierde führt es weg von der Sinnlichkeit des Manifesten und entführt in die verführerische Sinnlichkeit der astronomischen Bilder.