

Von Fritz Nagel, Basel

Frägt man nach dem Beitrag des Nicolaus Cusanus zu den exakten Wissenschaften, so werden in der Regel drei Themenkreise genannt. An erster Stelle stehen seine Aussagen über die Struktur des Weltalls und die Bahnen der Gestirne. An zweiter Stelle wird auf seine mathematischen Schriften zur Kreisquadratur verwiesen, und zuletzt folgen die von ihm vorgeschlagenen Experimente mit der Waage. Der mit den Gedanken des Cusanus nicht vertraute Naturwissenschaftler unserer Tage wird angesichts dieser von Cusanus bevorzugten Themenkreise eine gewisse Skepsis nicht verhehlen können. Sollte hier ein Kryptokopernikaner vor Kopernikus auftauchen, einer der vielen Auch-Experimentatoren vor Galilei und einer jener unzähligen Kreisquadrierer, die sich ebenso hartnäckig wie erfolglos um ein prinzipiell unlösbares Problem bemühen? Oder mit anderen Worten: Sind die Studien des Cusanus in den genannten Gebieten nicht viel mehr als die Bemühungen, die ein gebildeter Laie mehr oder weniger dilettantisch anstellt? Sind Astronomie, Physik und Mathematik - modern gesprochen - nur die Hobbies eines Kirchenfürsten, mit denen er seine Mußestunden füllt?

In dieser Weise hat etwa Karl Jaspers Cusanus beurteilt, wenn er schreibt: „Er hat keine empirische Untersuchung methodisch durchgeführt, hat keine einzige wirkliche Entdeckung gemacht. Insofern hat er keinen Ort in der Geschichte irgendeiner Wissenschaft“¹. Diesem Urteil stehen aber die Urteile zahlreicher Wissenschaftshistoriker von Rang ebenso entgegen wie zum Beispiel die Ansicht eines Alexander von Humboldt, der dem Cusanus in seinem vielgelesenen *Kosmos* „Geistesfreiheit und Mut“ gerade hinsichtlich seiner astronomischen Aussagen bescheinigt². Es ist sicher auch kein Zufall, daß es der Neukantianismus war, der sich mit seiner Frage nach der Entstehung der von Kant legitimierten neuen Naturwissenschaften als erster mit problemgeschichtlichem Bewußtsein dem Cusanus genähert hat. Die hier gestellte Aufgabe hat der Begründer der Marburger Schule, Hermann Cohen, dann im Jahre 1883 so formuliert: „Es wäre der Vorwurf einer wichtigen und anziehenden Untersuchung nachzuweisen, wie das theologische Interesse am Unendlichen mit diesem Grundbegriff der wissenschaftlichen Renaissance sich verbündet, um wie bei Nicolaus von Cusa und Giordano Bruno die Diskussion des Infinitesimalen zu fördern“³.

Welches ist nun also der Platz des Cusanus in der Geschichte der Wissenschaften? War er nur ein, wenn auch teilweise erfolgreich dilettierender Laie, oder war er ein verkappter moderner Naturforscher? Ich möchte im folgenden versuchen zu zeigen, daß

* Der folgende Text geht auf einen Vortrag zurück, den der Verfasser auf der jährlichen Mitgliederversammlung der Cusanus-Gesellschaft am 17. Nov. 1984 im Geburtshaus des Cusanus in Bernkastel-Kues gehalten hat.

¹ K. JASPERS, *Nicolaus Cusanus* (München, dtv, 1968) 131.

² A. v. HUMBOLDT, *Kosmos 2* (Stuttgart u. Augsburg 1845-49) 140. Vgl. dazu F. NAGEL, *Nicolaus Cusanus in der Sicht Alexander von Humboldts*: S. u., S. 251-256.

³ H. COHEN, *Das Prinzip der Infinitesimalmethode und seine Geschichte* (1883) (Frankfurt 1968) 76, Anm. 8.

Cusanus mehr als das erste und etwas anderes als das zweite war. Insofern nämlich durch sein Denken Bedingungen der Möglichkeit für dasjenige Verfahren geschaffen worden sind, das seit Galilei die Methode der exakten Wissenschaften heißt, war Cusanus mitbeteiligt an jener „Umänderung der Denkart“, die nach dem Urteil Kants den Wissenschaften so vorteilhaft geworden ist, ja sie in ihrer heutigen Gestalt erst hervor gebracht hat⁴.

Wie Cusanus den fachwissenschaftlichen Rahmen seiner Zeit sprengend auf neue Möglichkeiten wissenschaftlichen Vorgehens vorausgreift, ließe sich zum Beispiel an Hand seiner Versuche zur Kreisquadratur zeigen, bei denen Cusanus gestützt auf einen neuen Mathematikbegriff Näherungsverfahren zur Berechnung der Zahl π vorschlägt, welche den modernen Grenzwertbegriff in überraschend einfühlsamer Weise voraus ahnen lassen⁵. Man könnte zeigen, wie Cusanus bei seinen Versuchen mit der Waage an Gedanken des Nicolas d'Oresme anknüpfend Qualitätsunterschiede auf Grund von Beobachtungsreihen quantitativ auszudrücken versucht und damit auf die experimentelle Methode Galileis vorverweist. Man könnte seinen Anteil an der Kartographie anführen und schließlich die von ihm gesammelten alchemischen Rezepte ebenso heranziehen wie seine Bemerkungen zur Astrologie seiner Zeit⁶.

Ich werde im folgenden nur einen Themenkreis näher behandeln. Es ist derjenige, in welchem Cusanus im Verlauf seiner Wirkungsgeschichte am häufigsten genannt und zitiert worden ist: der Themenkreis der Astronomie⁷. Ich will versuchen, die Stellung des Cusanus in der Geschichte der Astronomie zu umreißen. Durch einen Vergleich der Systeme des Ptolemäus und des Kopernikus mit den astronomischen Aussagen des Cusanus möchte ich zeigen, wie Cusanus mit „Geistesfreiheit und Mut“ über Geozentrismus und Heliozentrismus hinausgreifend die eigentlich neuzeitliche Astronomie vorbereitet hat, die *astronomia nova* des Johannes Kepler.

I Das ptolemäische Weltsystem

Die astronomische Weltvorstellung zur Zeit des Nicolaus Cusanus bewegte sich noch ausschließlich in dem durch die antike Astronomie abgesteckten Denkhorizont. Das Programm jener Astronomie war dabei paradigmatisch von Plato formuliert, von Aristoteles im Detail untermauert und von Eudoxos, Hipparch und Ptolemäus in concreto durchgeführt worden. Ausgangsbasis war die jedem Beobachter offenbare Tatsache, daß die am Himmel sichtbaren Bewegungen von Fixsternen, Sonne, Mond und Planeten eine gewisse Ordnung und Regelmäßigkeit erkennen lassen. So zeigt zum Beispiel der Fixsternhimmel dem Betrachter immer die gleiche Gestalt, wobei jeder Stern in einem Tag einen Umlauf vollendet, der ihn jeweils wieder an den Ort zurückbringt, an

⁴ I. KANT, *Kritik der reinen Vernunft*, 2. Aufl. (Riga 1787) B XV.

⁵ Vgl. dazu F. NAGEL, *Nicolaus Cusanus und die Entstehung der exakten Wissenschaften*: BCG 9 (Münster 1984) 61ff.

⁶ Umfassendere Untersuchungen zu diesen Themenkreisen stehen noch aus.

⁷ Einen ersten Überblick über einzelne Stationen der Rezeptionsgeschichte des Cusanus gibt z.B. G. GAWLICK in NIMM, 225-239.

welchem er in der Nacht zuvor gestanden hat. Darüber hinaus führen Sonne, Mond und die Planeten zusätzliche Bewegungen aus, die sie nach immer gleichen Zeitabständen in die gleichen Ausgangspositionen zurückkehren lassen.

Diese erkennbare Ordnung am Himmel wird nun aber ebenso offenkundig von Störungen mancherlei Art durchbrochen. So laufen zum Beispiel die Sonne und die Planeten keineswegs das ganze Jahr hindurch gleichschnell auf ihren Bahnen. Sie ändern vielmehr dauernd ihre Geschwindigkeit. Desgleichen sind ihre Bahnen selbst keineswegs einfache Kurven, wie sie dem Mathematiker aus der Elementar-Geometrie vertraut sind. Manche Planeten führen vielmehr komplizierte Schleifenbewegungen aus, die jeder geometrischen Regelmäßigkeit zu entbehren scheinen. In ihrer konkreten Erscheinung bleiben daher die Himmelskörper offenkundig hinter jener idealen Wirklichkeit zurück, auf welche sie vermöge ihrer Regelmäßigkeit durch alle Störungen hindurch verweisen.

Für den antiken Himmelsbetrachter gilt daher, was Plato in seiner *Politeia* schreibt⁸: „Man wird zwar die Gestirne am Himmel, da sie doch im Sichtbaren gebildet sind, zwar für das Beste und Vollkommenste in dieser Art halten, aber doch weit hinter dem Wahrhaften zurückbleibend, nämlich hinter den Bewegungen, in welchen die Geschwindigkeit, welche ist, und die Langsamkeit, welche ist, sich nach der wahrhaften Zahl und allen wahrhaften Figuren gegeneinander bewegen und was darin ist, fortreiben, welches alles nur mit der Vernunft zu erfassen ist, mit dem Gesicht aber nicht“.

In diesen Sätzen Platos ist zugleich das ganze Programm der antiken Astronomie mit-enthalten. Hinter der erscheinungshaften Ungenauigkeit der Himmelsbewegungen gilt es die vollkommene Präzision ihrer idealen Wirklichkeit aufzusuchen und darzutun. Nur auf diese Weise ist es möglich, das wahre Wesen der Himmelskörper und das ihrer Bewegungen denkend adäquat zu erfassen. Die Bemühungen der antiken Astronomie gelten daher ausschließlich einem Ziel: der Rückführung der scheinbaren Unregelmäßigkeiten der Gestirnbewegungen auf die wahren Gesetze ihrer idealen Seinswirklichkeit.

Bei dieser Arbeit setzt die antike Astronomie einen Grundsatz voraus, welcher auch während des Mittelalters bis in die frühe Neuzeit hinein unbefragt gültig blieb. Es ist dies der Grundsatz von der prinzipiellen Unvergleichbarkeit irdischer und himmlischer Phänomene. Während alles Irdische aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Luft und Erde gebildet ist, wobei sich alles Geschehen durch eine verschiedenartige Mischung dieser Elemente vollzieht, hat die Materie der Himmelskörper ein völlig andersartiges, eigenes Sein. Sie, die *quinta essentia*, ist insbesondere dadurch ausgezeichnet, daß ihr keinerlei qualitative Veränderung zukommt. Während die irdische, sublunare Materie dem Gesetz des Werdens und Vergehens unterworfen ist, verharrt die extraterrestrische *quinta essentia* in fast vollkommener Unveränderlichkeit. Die einzige mögliche Art von Veränderung, die ihr zugemutet wird, ist die Ortsveränderung, d.h. die reine Bewegung. Doch selbst hinsichtlich dieser Bewegung unterscheidet sich die Welt der Gestirne radikal von der sublunaren Welt. Im irdischen Bereich hat näm-

⁸ PLATO, *Politeia* 529 d.

lich jede Bewegung, sofern ihr nicht ständig von außen Energie zugeführt wird, einen Anfang und ein Ende in Raum und Zeit⁹. Die himmlischen Bewegungen der Gestirne müssen demgegenüber als mit ewiger Dauer behaftet vorgestellt werden. Denn nur so bleibt der translunare Bereich dem Gesetz der Vergänglichkeit entzogen. Als reine Bewegungsformen, welche ewig dauern, können sich aber die antiken Astronomen nur reine Kreisbewegungen denken, die sich immer mit der gleichen konstanten Bahngeschwindigkeit vollziehen. Nur solche kommen ohne die Annahme einer ständigen Energiezufuhr von außen aus. Die beiden Grundaxiome der antiken Astronomie lauten daher:

1. Die idealen Gestirnbahnen sind entweder Kreisbahnen oder aus solchen zusammengesetzt.
2. Die Kreisbahnen werden von den Gestirnen mit konstanter Bahngeschwindigkeit durchlaufen.

Mit diesen beiden Axiomen ist nun aber zugleich auch die Hauptaufgabe der antiken Astronomie bestimmt. Setzt man nämlich die beiden genannten Axiome voraus, so müssen die beiden Grundfragen der antiken Astronomen entsprechend lauten:

1. Wie ist es zu erklären, daß die idealen Kreisbahnen der Gestirne dem irdischen Betrachter als mit Schleifen behaftet erscheinen?
2. Wie kommt es, daß wir am Himmel neben gleichförmigen auch ungleichförmige Bewegungen sehen?

Der Erklärung dieser in der Fachterminologie als erste und zweite Ungleichheit bezeichneten Phänomene galten dementsprechend die Anstrengungen aller bedeutenden Astronomen seit Plato. Ihre Ergebnisse zu einem praktischen System zusammengefaßt zu haben ist das Verdienst des alexandrinischen Astronomen Claudius Ptolemäus im zweiten nachchristlichen Jahrhundert. Fast fünfzehn Jahrhunderte lang war sein Hauptwerk *Megale Syntaxis*, in der arabisierten Form *Almagest* genannt, das grundlegende Werk der wissenschaftlichen Astronomie¹⁰.

Wie sieht nun das ptolemäische Weltsystem in concreto aus, und in welcher Weise ist in ihm das Problem der ersten und zweiten Ungleichheit gelöst? Um die als ruhend angenommene Erde laufen auf konzentrischen Bahnen Sonne, Mond und Planeten. Die Planeten beschreiben dabei entweder genaue Kreisbahnen, oder sie bewegen sich auf kleineren Kreisen, deren Mittelpunkte ihrerseits jenen ersten großen Kreis um die Erde beschreiben. Mit Hilfe solcher den großen Kreisen aufgesetzten kleinen Kreisen, den sogenannten Epizykeln, erklärt Ptolemäus zunächst die merkwürdigen Schleifenbahnen der Planeten. Was dem irdischen Betrachter nämlich als Schleife erscheint, ist für Ptolemäus in Wahrheit nur die aus der Zusammensetzung von zwei oder mehreren Kreisbewegungen entstandene Gesamtbewegung.

Damit ist aber nur die sogenannte zweite Ungleichheit der antiken Astronomie behoben. Zu deuten bleibt noch die erste Ungleichheit, d.h. das Phänomen der sich wäh-

⁹ Das Trägheitsgesetz wird erst von Galilei entdeckt.

¹⁰ PTOLEMÄUS, *Handbuch der Astronomie*, dt. Übers. v. M. Manitius, 2 Bde. (Leipzig 1963).

rend des ganzen Umlaufs ständig ändernden Geschwindigkeiten der Planeten. Wie die scheinbaren Schleifenbewegungen auf wahre Kreisbahnen, so werden jetzt auch die scheinbaren Ungleichförmigkeiten auf wahre Gleichförmigkeiten der Geschwindigkeiten zurückgeführt. Ptolemäus leistet dies durch die Annahme, daß die Erde weder im geometrischen Zentrum der konzentrischen Kreisbahnen steht noch das wahre Bewegungszentrum des Weltalls darstellt. Sie liegt vielmehr zum geometrischen Mittelpunkt des Alls ebenso exzentrisch wie das wahre Bewegungszentrum, das sogenannte *punctum aequans*. Die postulierte Gleichförmigkeit der Gestirnbewegungen wird nämlich nun bezüglich dieses imaginären, materiefreien Punktes außerhalb der Erde angenommen. Von der exzentrischen Erde aus müssen dann die auf jenes *punctum aequans* bezogenen gleichförmigen Bewegungen in der Tat als ungleichförmig erscheinen, so daß auch die noch ausstehende erste Ungleichheit im System behoben ist. Mit Hilfe von Epizykel-Theorie und *punctum-aequans*-Vorstellung hat daher Ptolemäus das platonische Programm der antiken Astronomie erfüllt. Die sichtbaren Bewegungen der Gestirne sind auf reine Kreisbewegungen mit gleichförmigen Geschwindigkeiten zurückgeführt. Hinter der erscheinungshaften Unregelmäßigkeit der Gestirnläufe ist die axiomatisch postulierte Ordnung als die Gesetzmäßigkeit einer idealen Wirklichkeit dargetan, welche zwar mit dem sinnlichen Auge nicht anschaulich, dem geistigen Auge jedoch dianoetisch einsichtig werden kann.

II Das kopernikanische Weltsystem

Fast fünfzehnhundert Jahre lang bildete das eben geschilderte ptolemäische Weltsystem mit nur unwesentlichen Verbesserungen die unbefragte Grundlage einer jeden ernstzunehmenden Astronomie. Erst Kopernikus ersetzte es durch ein neues. Was aber bewog ihn zu dieser Tat, und war dieselbe wirklich so revolutionär, wie sie dem oberflächlichen Betrachter erscheinen mag? Schon der Titel des 1543 erschienenen kopernikanischen Hauptwerkes *De revolutionibus orbium caelestium* muß uns hinsichtlich dieser Frage stutzig machen¹¹. Kein *Almagestum novum*, keine *Astronomia nova* wird uns hier vorgestellt, sondern ein Werk, das bereits in seinem Titel an die traditionelle Vorstellung von den *orbis*, d.h. an die Theorie der kristallinen Sphären der antiken Astronomie anknüpft. Nicht über die Bahnbewegungen der Weltkörper schreibt Kopernikus, sondern er handelt wie Ptolemäus von den Herumwälzungen der soliden himmlischen Bahnkreise, welche die an ihnen haftenden Planeten mit sich herumreißen. Wie sehr Kopernikus seiner Methode und Absicht nach dem antiken Denkhorizont verhaftet ist, zeigt noch deutlicher als der Titel seines Hauptwerkes der erste Entwurf seines Weltsystems, der sogenannte *Commentariolus*, welcher zwischen 1507 und 1514 abgefaßt worden ist¹². Kopernikus knüpft darin unmittelbar an die oben vorgetragene Theorie des Ptolemäus an. Doch hören wir ihn selbst¹³: „Unsere Vorfahren haben, wie ich

¹¹ Dazu Anmerkungen von A. Birkenmajer in N. COPERNICUS, *Über die Kreisbewegungen der Weltkörper*, Erstes Buch (Berlin 1959) 93ff.

¹² N. COPERNICUS, *Erster Entwurf seines Weltsystems*, hrsg. v. F. Rossmann (Darmstadt 1966).

¹³ A.a.O. 9-10.

sehe, eine Vielzahl von Himmelskreisen besonders aus dem Grund angenommen, um für die an den Sternen sichtbaren Bewegungen die Regelmäßigkeit zu retten. Denn es erschien wenig sinnvoll, daß sich ein Himmelskörper bei vollkommen runder Gestalt nicht immer gleichförmig bewegen sollte. Sie hatten aber die Möglichkeit erkannt, daß sich jeder Körper auch durch Zusammensetzen und Zusammenwirken von regelmäßigen Bewegungen ungleichmäßig in beliebiger Richtung zu bewegen scheint. Aber was darüber von Ptolemäus und den meisten anderen hier und dort im Laufe der Zeit mitgeteilt worden ist, schien, obwohl es zahlenmäßig entsprechen würde, ebenfalls sehr viel Angreifbares in sich zu bergen. ... Als ich dies nun erkannt hatte, dachte ich oft darüber nach, ob sich vielleicht eine vernünftiger Art von Kreisen finden ließe, von denen alle sichtbare Ungleichheit abhinge, wobei sich alle gleichförmig bewegen würden, wie es die vollkommene Bewegung an sich verlangt.“

Woran also Kopernikus Anstoß nimmt, sind nicht etwa irgendwelche rechnerische Unvollkommenheiten des ptolemäischen Systems. Kopernikus erkennt vielmehr ausdrücklich an, daß sich dieses System in der Praxis bisher recht gut bewährt hat. Die kleinen Korrekturen, welche in der Vergangenheit nötig gewesen waren, um einige Unstimmigkeiten bei den Berechnungen des Kalenders zu beseitigen, würden jedenfalls seiner Ansicht nach keinen Umsturz des ganzen Weltbildes notwendig machen. Das Hauptargument des Kopernikus gegen Ptolemäus ist ein anderes. Er nimmt vor allem Anstoß an der unbefriedigenden Erklärung der ersten Ungleichheit mit Hilfe jener *punctum-aequans-Theorie*. An dieser Stelle, so glaubt Kopernikus zu erkennen, ist es Ptolemäus nicht gelungen, die erscheinungshaften Bewegungsphänomene in einer befriedigenden Weise mit den Bedingungen einer idealen Astronomie in Einklang zu bringen und die von Plato geforderte durchgehende Rationalität aller Gestirnbewegungen praktisch zu erreichen. Die ptolemäische Theorie sei daher *non satis absoluta ... neque rationi satis concinna*¹⁴. Oder wie es im Hauptwerk noch schärfer formuliert wird, das ptolemäische Weltsystem sei wegen der mangelnden Symmetrie seiner Teile eher als ein Monstrum denn als ein wohlgestalteter Organismus anzusprechen¹⁵. Aus diesen Bemerkungen wird klar, daß sich die Kritik des Kopernikus noch völlig im antikeitmittelalterlichen Denkhorizont bewegt. Sie rügt nicht den Mangel an Übereinstimmung zwischen mathematischer Vorausberechnung und experimentellem Befund, sondern zielt auf die Differenz zwischen konkreter mathematischer Aussage und theoretisch postulierter Axiomatik.

Wie sieht nun aber das neue Weltsystem des Kopernikus in concreto aus? Um den von ihm angestrebten *rationabilior modus circularum*¹⁶ zu erreichen, muß Kopernikus zunächst einmal vor allem die erste Ungleichheit beheben. Zu diesem Zweck nimmt er an, daß alle Planeten eine erste Bewegung ausführen, die sie mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf konzentrischen Kreisbahnen umlaufen läßt. Die Ungleichförmigkeit der Geschwindigkeiten soll nun seinem Vorschlag nach dadurch entstehen, daß die Himmelskörper zusätzlich auf Epizykeln umlaufen und zwar ebenfalls mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Während also bei Ptolemäus die Epizykeln zur Deutung

¹⁴ A.a.O. 10.

¹⁵ N. COPERNICUS, *Über die Kreisbewegungen*, 10f.

¹⁶ N. KOPERNIKUS, *Erster Entwurf*, 10.

der zweiten Ungleichheit eingeführt worden sind, dienen sie im System des Kopernikus zur Erklärung der ersten Ungleichheit. Die zweite Ungleichheit, d.h. die Schleifenbahnen, muß Kopernikus somit auf eine andere Weise erklären als Ptolemäus.

Seine geniale Tat bestand nun darin, zur Deutung der zweiten Ungleichheit der Erde, welche bei Ptolemäus noch unbewegt in der Nähe des Weltzentrums gestanden hatte, selbst eine Eigenbewegung zuzuschreiben und sie wie die anderen Planeten auf einer Kreisbahn gleichförmig umlaufen zu lassen. Die merkwürdigen Schleifenbahnen der übrigen Planeten sind dann für ihn nichts anderes als die Reflexe der Erdbewegung, welche der irdische Beobachter unbemerkt mitmacht. In die bis jetzt noch leere Mitte seines Weltsystems stellt Kopernikus schließlich die Sonne, denn, so schreibt er¹⁷:

„In der Mitte von allen steht die Sonne. Denn wer wollte diese Leuchte in diesem wunderschönen Tempel an einen anderen oder besseren Ort setzen als dorthin, von wo aus sie das Ganze beleuchten kann? Zumal einige sie nicht unpassend das Licht, andere die Seele, noch andere den Lenker der Welt nennen. Trismegistos bezeichnet sie als den sichtbaren Gott, die Elektra des Sophokles als den Allsehenden. So lenkt in der Tat die Sonne, auf dem königlichen Thron sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne“.

Und er fügt die fast triumphierende Feststellung hinzu¹⁸:

„Wir finden also in dieser Anordnung eine bewunderungswürdige Symmetrie der Welt und einen festen, harmonischen Zusammenhang zwischen der Bewegung und der Größe der Bahnen, wie man ihn auf andere Weise nicht finden kann“.

Hieraus erhellt nun aber noch einmal das Ziel, das sich Kopernikus gesteckt hat. Nicht ein Weltmodell, das mit den Phänomenen besser in Einklang steht und somit genauere Berechnungen gestattet, will er entwerfen, sondern ein Weltsystem, das in vollkommener Rationalität die Axiome der antiken Astronomie, d.h. die Forderung nach Gleichförmigkeit und Kreisförmigkeit aller Gestirnbewegungen, erfüllt. Kopernikus sucht also nicht das mathematisch bessere, sondern das metaphysisch wahrere Weltsystem, dessen Ordnung für ihn noch weitgehend durch die antik-mittelalterliche Kosmo-Ontologie bestimmt wird. Die in ihren Konsequenzen so revolutionierend wirkende Vertauschung der Plätze von Erde und Sonne ist daher für Kopernikus nicht etwa der Beginn einer neuen Ära der Astronomie und Kosmologie, sondern nur der letzte Schritt in der konsequenten Erfüllung des von der antiken Astronomie aufgestellten Rationalitätspostulates.

III Die astronomischen Gedanken des Nicolaus Cusanus

Ganz anders bei Nicolaus Cusanus. Von genau gleichförmigen und kreisförmigen Bewegungen der Gestirne ist bei ihm keine Rede, noch weniger von Heliozentrismus. Der handschriftliche Entwurf in *Cod. Cus.* 211, den Clemens 1843 aufgefunden hat und der immer wieder zur Stützung der Behauptung angeführt wird, Cusanus habe eine Be-

¹⁷ N. COPERNICUS, *Über die Kreisbewegungen*, 74f.

¹⁸ A.a.O.

wegung der Erde um die Sonne gelehrt, zeigt näher besehen ein ganz anderes Bild¹⁹. Zwar führt die Erde zwei Bewegungen aus, doch sind dies nur Teile eines komplizierten Systems von 3 x 2 Rotationen von Erde, Sonne und Fixsternsphäre und keineswegs eine fortschreitende Bewegung um die Sonne. Nach wie vor steht die Erde hier *in medio mundi sub equinoctiali*²⁰, und bereits Alexander von Humboldt hat auf *De venatione sapientiae* cap. 28 hingewiesen, wo diese Auffassung noch einmal bekräftigt wird: *Posuit terram in medio ... ut sic semper in medio subsisteret et neque sursum neque lateraliter declinare*²¹. Die revolutionäre Tat des Cusanus in der Astronomie besteht also nicht in einer Vorwegnahme des Heliozentrismus des Kopernikus. Sie liegt auf einer völlig anderen und höheren Ebene.

Die revolutionäre Tat des Nicolaus Cusanus ist die Übertragung des Unendlichkeitsbegriffes von Gott auf das Universum, das nun selbst als ein konkretes Absolutes aufgefaßt wird, demgegenüber alle endlichen Bestimmungen versagen. Eine solche Übertragung konnte natürlich nicht ohne einschneidende Folgen für die Auffassung von der konkreten kosmologischen Struktur des Weltalls bleiben. Cusanus mußte an irgendeiner Stelle die Konsequenzen aus seiner neuen Lehre ziehen. Dies geschieht insbesondere im elften und zwölften Kapitel des zweiten Buches von *De docta ignorantia* und zwar in solch revolutionierender Weise, daß die Diskussion um Inhalt und Bedeutung dieser Abschnitte von Kopernikus bis Humboldt nie ganz zur Ruhe kommen sollte²². Welche Lehren vertritt nun Cusanus in diesen Kapiteln, und wie ist ihre Bedeutung einzuschätzen?

Nicolaus Cusanus geht von zwei eng miteinander zusammenhängenden Grundvoraussetzungen aus. Zum ersten wird die Welt als ein unendliches Beziehungsgefüge vorgestellt, woraus sich als zweites dann sogleich ergibt, daß kein Ding in dieser Welt einem anderen genau gleichen kann. Denn entsprechend dem je verschiedenen Platz, den ein Gegenstand im Gesamtgefüge der Welt einnimmt, sind in ihm die drei Prinzipien von Möglichkeit, Wirklichkeit und verknüpfender Bewegung je verschieden angelegt, so daß jeder Gegenstand in seiner Individualität völlig singulär und unvergleichbar ist. Darüber hinaus scheidet aber auch das Erkennen an jedem Objekt in dieser Welt. Denn wenn ein Ding erst durch seine Beziehungen zu allen anderen Dingen in der Welt vollständig bestimmt wird, zugleich aber die Anzahl dieser Bezugsmöglichkeiten unendlich ist, so ist das menschliche Erkennen, welches immer nur diskursiv verfahren kann, nie in der Lage, die Totalität aller möglichen Bezüge eines Gegenstandes zu durchlaufen, und damit diesen Gegenstand vollständig zu determinieren. Aus der vorausgesetzten Unendlichkeit der Welt folgt daher für Cusanus in Bezug auf den innerweltlichen Bereich die Unmöglichkeit aller Genauigkeit sowohl dem Sein als auch dem Erkennen nach.

¹⁹ Der Entwurf ist ediert von R. Klibansky in CSt 1 (1930) 41-45.

²⁰ A.a.O. 45, Z. 1.

²¹ *Ven. sap.* 28 (h XII, 79-81).

²² Vgl. dazu G. GAWLICK, a.a.O.

Dieses Ungenauigkeitspostulat wird nun auch an die Spitze der kosmologischen Überlegungen gestellt. Mit dem Anspruch auf absolute Präzision fällt dabei für Cusanus zunächst einmal die Möglichkeit dahin, von einem festen und unbewegten Mittelpunkt des Alls sprechen zu können, wie dies die Alten vorausgesetzt hatten. Gäbe es nämlich einen solchen festen Mittelpunkt, so hätte man ja im Innerweltlichen ein absolutes Minimum erreicht, an welchem sich alles genau messen ließe. Ein solches Maß kann es aber wegen der oben genannten Voraussetzung in dieser Welt nicht geben. Also existiert kein fester Mittelpunkt des Universums. Der Mittelpunkt des Weltalls liegt vielmehr nirgends und überall zugleich²³.

Eine ähnliche Überlegung gilt für das dem Minimum analoge Maximum. Wie die Welt keinen festen Mittelpunkt hat, so kann sie auch keinen festen Umfang haben. Diese letzte Vorstellung würde ja sogar bereits dem viel grundsätzlicheren Unendlichkeitsgedanken widersprechen, weil die Welt in diesem Fall durch eine feste Grenze terminiert wäre. Nach innen wie nach außen ist daher das Weltall für Cusanus unendlich. Nirgends gelangt man an einen unbewegten festen Punkt. Jeder Punkt, der erreicht wird, weist vielmehr immer schon über sich selbst hinaus, indem er sich als von unendlich vielen anderen Punkten her bedingt zu erkennen gibt. Präzision in dieser Welt ist daher weder in Bezug auf einen Mittelpunkt noch auf einen Umfang möglich.

Von diesen grundsätzlichen Prämissen aus wird nun insbesondere auch die Erde betroffen. Da es überhaupt keinen genauen Mittelpunkt und keine absolut festen Pole im Weltall gibt, kann die Erde sich weder genau im Zentrum der Welt befinden noch in absoluter Ruhe verharren, wie es die überlieferte Astronomie annahm. Wie alle anderen Himmelskörper kommt vielmehr jetzt auch der Erde eine Bewegung zu. Und nicht nur die Planeten, sondern auch die Fixsterne bewegen sich für Cusanus, ja sogar die Himmelspole hält er für nicht genau feststehend, sondern läßt sie eine Bewegung ausführen, welche sie dem allgemeinen Ungenauigkeitspostulat unterwirft.

Für diese Gestirnbewegungen gilt darüber hinaus, daß sich bei ihnen weder absolut genaue Kreisbahnen noch absolut gleichförmige Geschwindigkeiten antreffen lassen. Geometrische Bahngestalt und phoronomische Bewegungsgröße der Gestirne unterliegen vielmehr wie alles weltliche Sein dem Gesetz der Impräzision. Das gleiche gilt auch für die äußere Gestalt der Himmelskörper, die keine vollkommenen Kugeln mehr sein können. Auch die Erde besitzt daher keine genaue Kugelgestalt mehr, obwohl sie dieser Form in der Realität nahe kommt. Zusammenfassend kann daher Cusanus an die zentrale Stelle seiner Ausführungen den Satz stellen: „So merken wir, daß wir uns in Vermutungen bewegen und in allem irren“²⁴.

Der konjekturale Charakter all unseres Erkennens dem Innerweltlichen und damit insbesondere dem irdischen Sein gegenüber könnte nun dazu verleiten, aus der Ungenauigkeit und der Unvollkommenheit dieses Seins auf die geringe Würde und den minderen Rang alles Irdischen überhaupt zu schließen. Doch gerade dagegen verwahrt sich Cusanus. Was er mit seinen Überlegungen bezweckt, ist gerade nicht die Begrün-

²³ Zu diesem Topos vgl. D. MAHNKE, *Unendliche Sphäre und Allmittelpunkt* (Halle 1937).

²⁴ *Doct. ign.* II, 11 (h I, S. 102, Z. 4-5).

ding eines resignierenden Erkenntnisverzichtes. Indem Cusanus Gestirne und Erde, Translunarisches und Sublunarisches, dem gleichen Gesetz der Impräzision unterwirft, eröffnet er vielmehr dem menschlichen Erkennen, das nun allerdings ebenfalls einer Neubestimmung seiner Funktion bedarf, einen neuen Horizont nie ausschöpfbarer Erkenntnismöglichkeiten, der ihm zuvor verschlossen geblieben war.

Dies wird besonders deutlich, wenn wir die Hauptgedanken des zwölften Kapitels von *De docta ignorantia* betrachten, welche die Denkrichtung der vorangegangenen Überlegungen in positiver Weise umkehren. So wie die Gestirnbewegungen zuvor dem Gesetz irdischen Seins unterworfen worden waren, so wird jetzt die Erde in den Rang eines Himmelskörpers erhoben, welcher an der zuvor dem Himmel vorbehaltenen Ordnung vollumfänglich teilhat. Fast die gesamten Ausführungen dieses Kapitels dienen diesem Gedanken einer Stellarisierung der Erde²⁵.

Cusanus führt dazu unter anderem folgendes aus: Die Erde nehme weder den untersten Platz im All ein, noch sei sie in ihrer materiellen Beschaffenheit qualitativ von den Sternen verschieden. Denn wie es noch kleinere Sterne als die Erde gebe, so herrsche auch auf allen Sternen die gleiche Zusammensetzung der Materie. Die Sonne enthalte ebenso erdhafte Bestandteile, wie die Erde sonnenhaft sei. Und könnte man die Erde nur weit genug von außen betrachten, so würde sie als ein heller Stern erscheinen, welcher wie die anderen Sterne Wärme und Ausstrahlung besitze. Die Erde könne daher auch nicht mehr der alleinige Einstrahlungsort astrologischer Einflüsse sein. Ihr müssen vielmehr selbst konsequenterweise solche Einflußmöglichkeiten in Bezug auf andere Gestirne zugestanden werden. Selbst die Singularität ihrer Bewohntheit durch vernünftige Wesen läßt Cusanus nicht mehr als ein Argument für die Sonderstellung der Erde gelten. Unter den unendlich vielen Welten im All ließen sich nämlich möglicherweise ähnliche, durch Vernunftwesen bevölkerte Welten finden. Und bei einem Vergleich mit diesen möglichen Sternenbewohnern würde selbst das Phänomen des Todes als einer Auflösungserscheinung der Elemente nicht Unterschied, sondern Gemeinsamkeit stiften.

Stellarisierung der Erde und Homogenisierung des Weltalls sind daher zusammen mit der Relativierung der Fixpunkte und der Bewegungsgrößen die radikalen Konsequenzen der cusanischen Kosmologie. Der antik-mittelalterliche Stufenkosmos mit seiner qualitativ verstandenen Trennung von oben und unten, von vollkommener Sternenvelt und unvollkommener Sublunarsphäre ist damit endgültig überwunden. Daß mit dieser Überwindung zugleich die Bedingungen der Möglichkeit einer neuen Naturwissenschaft, welche nach allen Seiten unbeschränkt in Raum und Zeit fortschreiten kann, geschaffen war, darüber war sich auch Cusanus im Klaren. Doch mußte dieser neue Denkhorizont, den er selbst noch weitgehend offen ließ, erst mit den konkreten Modellen neuzeitlicher Deutung gefüllt werden. Kepler und Galilei und nicht Kopernikus sollten dafür – sachlich nicht unabhängig von den Gedanken des Cusanus – die wichtigsten Beiträge liefern.

²⁵ *Doct. ign.* II, 12 (h I, S. 103ff.).

Bereits an dieser Stelle ist – wie ich hoffe – der radikale Unterschied zwischen Kopernikus und Cusanus offenbar geworden. Der beiden gemeinsame Gedanke ist der einer Bewegung der Erde. Aber welcher unterschiedlicher Stellenwert kommt diesem jeweils zu. Während bei Cusanus die Erdbewegung eine Folge der alles umgreifenden Ungenauigkeit des innerweltlichen Seins ist, ist sie für Kopernikus lediglich ein Mittel zur Vollendung jener Präzisionsastronomie, welche die antike Philosophie auf Grund der metaphysischen Vorrangstellung der Himmelsphären gefordert hatte. Nicht Ablösung des ptolemäischen Weltbildes unter Aufgabe seiner ontologischen Prämissen, sondern Vollendung des antiken Programms durch strengste Beachtung aller damit verbundenen Forderungen war das Ziel des Kopernikus. Daß aber mit der Erfüllung dieses Programms durch ihn zugleich der Umsturz des antik-mittelalterlichen Weltbildes besiegelt war, hätte niemanden mehr erstaunt als Kopernikus selbst.

Cusanus hingegen macht Ernst mit der Einsicht in die Unmöglichkeit absolut präziser astronomischer Erkenntnisse. Er macht Ernst mit dem Satz, daß wir nur das genau einsehen können, was wir selbst hervorgebracht haben. Dies sind aber eben nicht die *entia realia* der Natur, sondern nur die *entia rationalia* unserer *mens*, unter denen die mathematischen Begriffe eine herausragende Rolle spielen²⁶. Wenn wir daher genaue Gesetze über den Kosmos aussprechen, so sind dies nicht die Gesetze der notwendig ungenauen Natur. Es sind vielmehr zunächst die Gesetze unseres eigenen Denkens, die sich am besten in der Sprache der Mathematik formulieren lassen. Sie sind jene genauen Maßstäbe, welche uns zur näherungsweise Messung des Ungenauen in der Natur dienen können.

Hierin begegnet Cusanus Kepler, dessen Worte wie eine Paraphrase cusanischer Gedanken tönen, wenn er 1599 an seinen Freund Herwart von Hohenberg schreibt²⁷:

„Gottes sind in der ganzen materiellen Welt die Gesetze, Zahlen und Beziehungen von besonderer Feinheit und schön gefügter Ordnung ... Wir wollen also gar nicht versuchen, mehr über die himmlische und immaterielle Welt herauszufinden, als Gott uns enthüllt hat. Jene Gesetze sind dem menschlichen Geist erfassbar; er hat uns nach seinem Ebenbild erschaffen, so daß wir an seinen Gedanken teilhaben können. Denn was gibt es im menschlichen Geist außer Zahlen und Größen? Nur diese können wir in der rechten Weise verstehen, und - wenn die Ehrfurcht uns das zu sagen erlaubt - in dieser Hinsicht ist unser Verstand von gleicher Art wie der göttliche, zumindest sofern wir in unserem sterblichen Leben etwas davon zu begreifen vermögen. Nur Narren fürchten, wir wollten den Menschen damit zu Gott machen; denn Gottes Ratschläge sind unerforschlich, seine materielle Schöpfung ist es aber nicht“.

Kepler ist es denn auch, den man als den eigentlichen Vollender der kosmologischen Thesen des Cusanus bezeichnen könnte. Er kennt Nicolaus besser als Kopernikus, der den Cusanus an einigen Stellen zwar anerkennend erwähnt, aber dabei mehr oder weniger kühl-sachlich bleibt²⁸. Deutlich spüren wir hingegen die Betroffenheit Keplers bei der Lektüre cusanischer Schriften, in denen er soviel Verwandtes zu seinem eigenen

²⁶ Vgl. *De pass.* (h XI/2, S. 52, Z. 7-12).

²⁷ J. KEPLER, *Brief an H. v. Hohenberg*, 9./10.4.1599: Gesammelte Werke, hrsg. v. W. v. Dyck u. M. Caspar, 13 (München 1945) 308, Z. 156-158 u. 309, Z. 173-180.

²⁸ Über die Bezugnahmen des Kopernikus auf Cusanus gedenke ich gesondert zu berichten.

Denken findet, daß er schließlich vom *divinus mihi Cusanus* spricht²⁹. In einem letzten Kapitel möchte ich daher einige Grundgedanken Keplers denen des Cusanus gegenüberstellen.

IV Die neue Astronomie des Johannes Kepler

Nachdem die alte Kosmologie durch Cusanus außer Kraft gesetzt worden war, mußte sich den Astronomen radikal die Frage stellen, ob denn damit nicht zugleich auch jede wissenschaftliche Astronomie überhaupt unmöglich geworden war. Denn wenn nichts mehr genau sein konnte, gab es dann überhaupt noch ein Fundament für verbindliche wissenschaftliche Aussagen? Oder bedurften diese nicht stets solcher allgemeingültiger naturphilosophischer Prämissen, wie es die antiken Bewegungsaxiome gewesen waren, welche zugleich die ontologische Wahrheit der auf ihnen beruhenden Erkenntnisse verbürgt hatten? Wie stark der Glaube an die absolute Notwendigkeit solcher ontologisch verankerter Prämissen wissenschaftlicher Naturerkenntnis war, zeigt sich zum Beispiel in dem öffentlichen Versprechen des Petrus Ramus, demjenigen seinen Pariser Lehrstuhl abzutreten, der eine Astronomie ohne Hypothesen zu entwickeln im Stande sei³⁰. Hierbei ist zu beachten, daß Ramus das Wort Hypothese nicht im neuzeitlichen, sondern noch ganz im überlieferten antiken Sinn verwendet. Hypothese bedeutet für ihn nicht etwa eine vorläufige Annahme, welche zu ihrer endgültigen Anerkennung erst noch der experimentellen Verifikation bedarf. Hypothese ist vielmehr für ihn wie für Plato ein für wahr gehaltener Satz, der als Ausgangspunkt für die Gewinnung weiterer wahrer Sätze dienen kann, wobei im Verfahren einer solchen Neugewinnung die Wahrheit der Ausgangshypothese unbestritten bleibt. In diesem Sinn waren die Bewegungsaxiome der Astronomie des Ptolemäus wie des Kopernikus Hypothesen gewesen, so daß Ramus kein Risiko einzugehen glaubte, wenn er seinen Lehrstuhl als Preis für eine Astronomie ohne Hypothesen ausschrieb. Und dennoch sollte Ramus sich getäuscht haben. Im Jahre 1609 erschien das grundlegende Werk der neuzeitlichen Himmelskunde, die *Astronomia nova* des Johannes Kepler, welcher, wohl bewußt, als erster eine Astronomie ohne naturphilosophische Hypothesen geliefert zu haben, im Vorspruch den Rameischen Lehrstuhl für sich forderte³¹. Was aber besagt der Begriff einer Astronomie ohne Hypothesen für Kepler? In einem Brief an seinen Lehrer Mästlin hat er sich so darüber ausgesprochen: Falls „Astronomie ohne Hypothesen“ nur die Verwerfung aller Annahmen besagt, die, statt sich auf wissenschaftliche Beweise zu stützen, blinden Glauben verlangen, so habe er sie in seinem Werk erfüllt. Sei aber damit zugleich die Verwerfung und Ausschaltung aller Erkenntnisprämissen, der naturgemäßen wie der willkürlich erdichteten, gemeint, so sei eine solche Forderung grundlos und töricht. Eher aber müsse er für sich

²⁹ J. KEPLER, *Mysterium cosmographicum* c.2: Ges. Werke 1 (München 1938) 23. Auch hierüber bereite ich eine eigene Arbeit vor.

³⁰ PETRUS RAMUS, *Scholarum mathematicarum lib. II*, p. 50, abgedruckt in: J. KEPLER, *Astronomia nova*: Ges. Werke 3 (München 1937) 6.

³¹ J. KEPLER, *Astronomia nova*, a.a.O.

selbst eine königliche Professur in Anspruch nehmen, als daß er sich entschließen könne, den Petrus Ramus einen Narren zu nennen³². Kepler ersetzt somit den Begriff der Hypothese als ein für wahr gehaltenes Seinsprinzip durch den neuen Begriff, welcher Hypothese als ein Erkenntnismittel faßt, über dessen Angemessenheit an die Natur erst die experimentelle Prüfung entscheidet. Mit diesem Übergang von der Hypothese als Seinsprinzip zur Hypothese als Erkenntnismittel vollzieht Kepler zugleich den Übergang von der antik-mittelalterlichen Naturphilosophie zu einer Wissenschaft, über deren Neuartigkeit bereits der Titel seines Hauptwerkes Auskunft gibt.

Astronomia nova aitiologetos seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus ... Tychonis Brahe ... plurimum annorum pertinaci studii elaborata ... mathematico Joanne Keplero. So lautet der Titel des grundlegenden Werkes der neuzeitlichen Himmelskunde. Eine neue Astronomie wird hierin angekündigt, welche gestützt auf ein ausgedehntes Beobachtungsmaterial, das vom Mathematiker ausgewertet wurde, als eine Physik des Himmels auftritt. Das Beiwort *nova* stellt dabei dieses Werk in die Reihe jener Schriften, welche vom *Novum Organum* Bacons über die *Discorsi e dimostrazioni intorno due nove scienze* des Galilei bis hin zur *Nova methodus* des Leibniz reichen, und welche das geistige Gesicht der Neuzeit wesentlich geprägt haben³³. Was aber ist das spezifisch Neue im Keplerschen Werk, das es mit allen vorangehenden Werken der Astronomie grundsätzlich unvergleichbar macht?

Um diese Frage zu beantworten, gehen wir vom Jugendwerk Keplers, dem *Mysterium cosmographicum* aus³⁴. Noch ganz im pythagoräischen Geist hatte Kepler darin den Versuch unternommen, die verschiedenen Abstände der Planetenbahnen untereinander dadurch zu erklären, daß er die verschiedenen Sphären zwischen die fünf platonischen Körper eingeschlossen vorstellt. Bis zu einem gewissen Grade ließ sich dies auch mit den tatsächlichen Verhältnissen vereinbaren. Es blieb jedoch an einigen Stellen ein auffälliger Mangel an Übereinstimmung zwischen Planetenbahn und Polyeder. Kepler schrieb diesen Mangel zunächst der Ungenauigkeit seiner Bahnelemente zu, und, da diese nur durch bessere Beobachtungsdaten behoben werden konnten, hielt er Ausschau, wo er sich solche verschaffen könnte. Dabei wurde er alsbald an Tycho Brahe verwiesen, welcher auf Grund jahrzehntelanger Himmelsbeobachtungen über das beste Datenmaterial seiner Zeit verfügte. Brahe berief Kepler als seinen Mitarbeiter nach Prag. Doch wenn Kepler noch zu Beginn seiner Arbeit eine Wette abgeschlossen hatte, seine Rechnungen in weniger als acht Tagen zu beenden, so sah er sich bald bitter enttäuscht. Es bedurfte jahrelanger mühevollster Berechnungen, bis sich aus dem Beobachtungsmaterial Brahes die Elemente einer neuen Planetentheorie herauschälten und sich zu einer völlig neuartigen Auffassung von der Natur der Himmelsbewegungen zusammenfügten.

³² J. KEPLER, *Brief an M. Mästlin*, Okt. 1597: Ges. Werke 13 (München 1945) 141, Z. 16-25.

³³ F. BACON, *Novum Organum* = 2. Teil der *Instauratio magna* (London 1620); G. GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni* (Leiden 1638); G. W. LEIBNIZ, *Nova methodus pro maximis et minimis*: Acta Eruditorum (Leipzig 1684) 467-473.

³⁴ J. KEPLER, *Mysterium cosmographicum*: Ges. Werke 1 (München 1938).

Zwei Grundgedanken bestimmen Keplers Arbeit. Der erste ist von Anfang an vorhanden und betrifft das Zentrum der Planetenbahnen. War bei Ptolemäus und Kopernikus dieses Zentrum noch leer geblieben, indem die Erde bzw. die Sonne exzentrisch zu diesem Bewegungsmittelpunkt gedacht wurden, so rückt Kepler die Sonne nun in den wahren Mittelpunkt aller Bahnen. Zugleich gesteht er der Sonne eine Art magnetischer Kraft zu, vermöge derer sie die Planeten auf ihren Bahnen durch ihre Umdrehung mit sich herumreißt. Wie die Sonne Quelle des Lichtes ist, so wird sie für Kepler jetzt auch Quelle der Bewegung und treibt durch ihre *vis motrix* das ganze Planetensystem an. Die Einführung eines solchen Motors bedeutet einen völlig neuen Gedanken für die Astronomie, denn nun wird zum ersten Mal der Begriff der Kraft in die Himmelskunde eingebracht, welcher es gestattet, die jeweiligen momentanen Bahngeschwindigkeiten der Planeten mit ihrem Abstand von der Sonne in Beziehung zu setzen.

Der zweite Gedanke Keplers entwickelt sich erst langsam in mühevoller Arbeit mit den Braheschen Beobachtungsdaten. Zu Beginn seiner Arbeit ging Kepler nämlich noch davon aus, daß die Marsbahn eine genaue Kreisbahn sei. Erst später erkannte er: „Mein erster Irrtum war es, die Planetenbahnen als vollkommene Kreise anzunehmen, und dieser Fehler raubte mir um so mehr Zeit, als er mit der Autorität aller Philosophen gelehrt wurde und in sich mit der Metaphysik übereinstimmte“³⁵. Als er jedoch die Abstände des Mars von der Sonne durchgerechnet hatte, mußte er feststellen, daß zwischen den berechneten und den beobachteten Werten eine Differenz von acht Bogenminuten bestand. Ein anderer hätte sich bei dieser minimalen Abweichung beruhigt und sie Beobachtungs- oder Rechenfehlern zugeschoben. Nicht so Kepler. *Haec octo minuta*, so schreibt er, *viam praeiverunt ad totam Astronomiam reformandam*³⁶. Diese acht Minuten waren ihm nämlich Anlaß, die Auffassung von der genauen Kreisförmigkeit der Marsbahn völlig zu verwerfen. Kepler drückt dies so aus: „Es war angenommen worden, daß die Bahn, die ein Planet durchläuft, ein vollkommener Kreis sei und daß es auf der Apsidenlinie einen einzigen Punkt in einem festen und bestimmten Abstand vom Zentrum der Bahn gebe, um welchen der Mars in gleichen Zeiten gleiche Winkel überstreicht. Eine dieser beiden Annahmen oder wahrscheinlich beide sind falsch“³⁷. Am Beginn der neuen Astronomie bei Kepler steht also wie bei Cusanus das entschiedene Abrücken von dem Axiom der antiken Präzisionsastronomie, der Existenz genauer Fixpunkte und genauer Kreisbahnen. Kepler versuchte nun ein Jahr lang sein Glück mit der Annahme ovaler Bahnen. Aber auch diese führten ebensowenig wie eine *via buccosa* zum Ziel. Da endlich, nach Ostern 1605, kam ihm der rettende Einfall. Die Marsbahn ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Jetzt kann er an seinen Freund David Fabricius schreiben³⁸: „Alles ist geschehen, was

³⁵ J. KEPLER, *Astronomia nova*: Ges. Werke 3 (München 1937) 263.

³⁶ A.a.O. 178, Z. 10/11.

³⁷ A.a.O. 176, Z. 8-13.

³⁸ J. KEPLER, *Brief an D. Fabricius* 11.10.1605: Ges. Werke 15 (München 1951) 261, Z. 852-854.

Du verlangst hast. Die Gründe für beide Exzentrizitäten sind angegeben. Du hast eine Astronomie ohne Hypothesen“.

Der Übergang von den Kreisbahnen zu elliptischen Kurven war die entscheidende historische Tat Keplers. Sie bezeichnet die radikale Unterschiedenheit von neuzeitlicher und antiker Astronomie. Denn für die antiken Geometer waren erstens Ellipsen und Kreise zwei grundsätzlich verschiedene, unvergleichbare Kurven, wobei dem Kreis hinsichtlich der Vollkommenheit der höhere Rang zukam. Für Kepler hingegen gilt: *Circulus et Ellipsis sunt ex eodem figurarum genere*³⁹. Beide Kurven sind also auch hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf Naturerscheinungen völlig gleichberechtigt. Zum zweiten bedeutet aber die Zulassung elliptischer Bahnkurven einen radikalen Einschnitt, weil hier zum ersten Mal das Ordnungsprinzip der Himmelserscheinungen nicht in der anschaulichen Gestalt von Körper und Bahn, sondern im mathematischen Gesetz gesucht wird, das diese Bahnen, seien sie Kreise oder Ellipsen, bestimmt. Das mathematische Gesetz aber, das die verschiedenen Erscheinungen wie mit einem Bande zusammenknüpft, ist ein Produkt des menschlichen Geistes. Die Ordnung des Universums ist daher für Kepler wie für Cusanus nicht mehr durch die Seinsstruktur des Kosmos verbürgt, die sich gestalthaft dem zusehenden Erkennen erschließt. Sie hat vielmehr ihren Sitz in der produktiven Kraft der menschlichen *mens*, welche ihre selbstgeschaffenen mathematisch-physikalischen Begriffskonstruktionen der Natur gleichsam wie ein Netz überwirft. In diesem Netz seiner neuen mathematischen Begrifflichkeit gefangen führt Kepler daher den Kriegsgott Mars vor Kaiser Rudolph II. Und sieht er sich dabei auch nur als einen zweiten Vulkan, so kann er dennoch den stolzen Satz sprechen⁴⁰:

Durarunt pauco Vulcania tempore vincla.

At contra aeternum haec Kepleriana manent.

Zum Verhältnis von Cusanus und Kepler läßt sich somit folgendes festhalten: Die Ersetzung der Kreisbahnen durch Ellipsen bei Kepler ist nur möglich, wenn der Gedanke von der Vollkommenheit und Andersartigkeit der Himmelskörper aufgegeben ist. Keplers Übergang vom Kreis zur Ellipse erfolgt daher vor dem Hintergrund des cusanischen Homogenitätsgedankens verbunden mit dem Ungenauigkeitspostulat. Ellipse und Kreis sind bei Kepler gleichberechtigte Figuren. Auch dieser Gedanke ist bei Cusanus vorgebildet, der mit Hilfe seines Koinzidenzgedankens die Übergänge gerade zwischen mathematisch heterogenen Figuren einübt. Mathematische Strukturen als Produkte des menschlichen Geistes werden bei Cusanus und Kepler vor dem Hintergrund des Gottebenbildlichkeitsgedankens gesehen. Dieser Gedanke garantiert zugleich bei beiden die Anwendbarkeit von Mathematik auf Natur, deren Ordnung nicht mehr nur eine Ordnung des Seins, sondern auch eine Ordnung des Denkens ist.

³⁹ J. KEPLER, *Mathematische Schriften*: Ges. Werke 9 (München 1960).

⁴⁰ Diesen Vers des Saxirupius hat Kepler in seine *Astronomia nova* aufgenommen. Vgl. Ges. Werke 3 (München 1937), 11, Z. 26-27.

Cusanus steht also in der Geschichte der Astronomie genau an jener Nahtstelle, wo die antike Planetenastronomie mit ihrer auf Kreisen aufgebauten Kinematik von der modernen Astronomie abgelöst wird, welche durch ihre Abkehr von jedem Vollkommenheitspostulat die Vorgänge am Himmel einer adäquaten mathematischen Behandlung zuführt und sie zugleich einer dynamischen Deutung öffnet, die eine Physik des Weltalls überhaupt erst möglich macht.

Cusanus hat kein eigenes Planetenmodell entworfen, schon gar kein heliozentrisches. Aber er hat durch seine Gedanken über den Kosmos dazu beigetragen, den zu hohen astronomischen Vollkommenheitsanspruch, dem noch Kopernikus genügen wollte, in Frage zu stellen zugunsten einer Einsicht in die wesenhafte Impräzision und Relativität auch der himmlischen Phänomene. Sein neuer Erkenntnisbegriff garantiert dabei, daß diese dennoch der mathematischen Beschreibung durch den denkenden Menschen zugänglich bleiben. Diese Schlüsselstellung des Cusanus in der „Scheidezeit der Geister“ hätte man ebenso wie in der Astronomie auch in seinen Aussagen zur Physik und zur Mathematik aufzeigen können. Das Ergebnis wäre dasselbe gewesen⁴¹.

Das Fazit meiner Ausführungen möchte ich mit den Worten von Josef Koch ziehen, der die Rolle des Cusanus in den Wissenschaften so charakterisiert hat⁴²:

„Es gibt keinen zu seiner Zeit gepflegten Wissensbereich, in dem er nicht durch seine genialen Ideen die weitere Entwicklung der Forschung angeregt hätte. Er war kein Astronom, aber durch seine neue Kosmologie hat er einen Platz in der Geschichte der Astronomie. Er war kein Mathematiker von Fach, aber durch seine Spekulationen über das Unendliche in der Geometrie und sein Suchen nach einer Methode des Grenzübergangs erscheint er als der einzige geniale Kopf unter den deutschen und italienischen Mathematikern. Er war kein Chemiker, Botaniker und Mediziner, aber durch seine Gedankenexperimente mit der Waage ist er in die Geschichte der naturwissenschaftlichen Methodik eingegangen. Er war kein Geograph, aber die erste Karte von Mitteleuropa wurde von ihm angeregt.“

Und ich füge hinzu: Nicolaus Cusanus war kein moderner Naturwissenschaftler, aber sein Denken machte die moderne Naturwissenschaft möglich.

⁴¹ Vgl. dazu F. NAGEL, *Nicolaus Cusanus und die Entstehung der exakten Wissenschaften*, BCG 9 (Münster 1984).

⁴² J. KOCH, *Nikolaus von Kues: Die großen Deutschen 1* (Berlin 1956) 287.