



© AKG

# Die kopernikanische Wende

Mit szenischen Dialogen Entstehungs- und Durchsetzungsprozesse von Ideen darstellen

Von Josef Leisen

<b>KLASSENSTUFE:</b>	Sek. II
<b>SCHULFORM:</b>	Gymnasium
<b>ZEITUMFANG:</b>	3–4 Unterrichtsstunden
<b>THEMA:</b>	kopernikanisches Weltbild
<b>METHODE:</b>	szenischer Dialog
<b>WEITERE MATERIALIEN:</b>	Dialog „Kopernikanische Wende“ als pdf-Datei unter <a href="http://www.unterricht-physik.de">www.unterricht-physik.de</a> ; Dialogtexte zu den Themen Auftrieb [14], Farben [15], Erdmagnetismus [16]

Wie kann man Entstehungs- und Durchsetzungsprozesse von Ideen nachvollziehbar darstellen? Dies geschieht am besten, indem man sie durchführt, indem man selbst am Prozess teilhat. Nun ist das allerdings bei Forschungsprozessen, bei historischen Prozessen und bei methodisch anspruchsvollen Prozessen für Schülerinnen und Schüler kaum möglich. Der szenische Dialog stellt eine Möglichkeit dar, derartige schwer zugängliche Prozesse nachzustellen.

## Der szenische Dialog als didaktisches Instrument

Der szenische Dialog ist eine Literaturform, die zum Fach- und Sprachlernen

genutzt werden kann, indem Fachinhalte und Fachmethoden narrativ verkleidet oder in einen fachlichen Disput zwischen verschiedenen Protagonisten eingebunden werden.

Im szenischen Dialog werden Sachverhalte und Aushandlungsprozesse lebendig dargestellt, indem die Protagonisten kontrovers disputieren, Argumente aus verschiedenen Perspektiven einbringen und diese gegenseitig abwägen. Ein szenischer Dialog ist darüber hinaus didaktisch konzipiert und mehrschichtig aufgebaut. Er ist an einem konkreten, unterrichtsrelevanten naturwissenschaftlichen Sachverhalt bzw. an einer Idee festgemacht und er argumentiert fachmethodisch und wissenschaftstheoretisch an genau diesem Inhalt. Der Dialogtext macht tote Sachverhalte und abgeschlossene Diskussionsprozesse lebendig und bringt ferne Prozesse ganz nahe. Er hat Beispielcharakter für das fachlich korrekte Argumentieren, für den fachlichen Disput und für das wissenschaftstheoretische Streitgespräch. Er zeigt, dass bei der Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse theoretische Argumente (z. B. im hier vorgestellten Dialog: Form der Planetenbahn, Stellung von Erde und Sonne) und empirische Daten (z. B. im hier vorgestellten Dialog: exakte Him-

melsbeobachtungen über lange Zeiträume) bedeutsam sind.

## Arbeit mit einem szenischen Dialog

Der szenische Dialog ist das philologische Pendant zum Experiment. So wie ein Experiment ausgewertet wird, so kann auch mit dem Dialogtext gearbeitet werden. Es findet eine Arbeit am Text statt: Die Lernenden untersuchen Textpassagen aus sprachlicher und fachlicher Sicht, beantworten Fragen und diskutieren den Text im Plenum. Fachliche Argumente werden herauskristallisiert und übersichtlich einander gegenübergestellt, ergänzende Begleittexte werden eingebunden und Leerstellen ausgefüllt. Zu vorgegebenen Einzelargumenten schreiben die Schülerinnen und Schüler selbst Dialoge und lesen den szenischen Dialog in verteilten Rollen und schreiben ihn evtl. fort. So entsteht ein tiefgehendes Verständnis des Textes und seiner Inhalte.

Die Arbeit mit einem szenischen Dialog ist ungewohnt für Lehrkräfte, die kein philologisches Fach unterrichten. In Anlehnung an das Vorgehen im Literaturunterricht empfiehlt sich die in **Kasten 1** und auf dem **Arbeitsblatt** dargestellte Schrittfolge.

**Szenische Dialoge selbst erstellen**

Wenn Lehrkräfte einen szenischen Dialog selbst erstellen möchten, sind folgende Empfehlungen hilfreich:

- Identifikationen durch Personalisierung schaffen.
- Den sachlogischen Argumentationsstrang dem einen Dialogpartner, Erklärungen und Begründungen dem andern Dialogpartner übertragen.
- Einen Sachverhalt zunächst sprachlich weich formulieren und später fachsprachlich präzisieren.
- Denselben Sachverhalt sprachlich variieren; das erhöht das Verstehen.
- Den Argumentationsstrang zusammenfassen, wiederholen und den Argumentationsbogen schließen.

Der Autor hat die Möglichkeit alles das, was im Unterricht zwischendurch gesagt und erklärt wird, in den szenischen Dialog einfließen zu lassen. Das führt jedoch dazu, dass szenische Dialoge umfangreich werden.

**Themen für szenische Dialoge**

Die „wissenschaftshistorischen Sternstunden der Menschheit“ geben gute Themen für szenische Dialoge ab. Hier können historische Personen, die zu verschiedenen Zeiten lebten und sich nie kennen lernten, in fiktiven Dialogen zusammentreffen. Beispiele für Themen:

- Dialog zwischen Astronomen verschiedener Jahrhunderte, die in irgendeiner Weise an der Auseinandersetzung zwischen der geozentrischen und heliozentrischen Idee beteiligt waren (s. **Dialog** auf S. 37–40), z.B. Aristoteles (384–322 v. Chr.), Apollonius (262–190 v. Chr.), Hipparch (190–120 v. Chr.), Ptolemaios (90–160), Kopernikus (1473–1543);
- Dialog zwischen Aristoteles, Galilei und Newton über das Trägheitsprinzip am Beispiel eines geworfenen Steins in einem gleichmäßig bewegten Bezugssystem (s. [9], s. den Dialog in [10], S. 150 ff.);
- Dialog zwischen einem Vertreter der Innenwelttheorie (Hohlwelttheorie) und einem Vertreter der anerkannten Außenwelttheorie (s. dazu [12]; s. a. S. 45–46);
- Dialog zwischen Goethe und Newton über die Farbenlehre (s. [15]);
- Dialog zwischen Gilbert, de Maricourt, Kolumbus und zwei fiktiven

**Arbeit mit einem szenischen Dialog**

**1. Aktivierung des Vorwissens**

In dieser Phase werden das Vorwissen, die Vorstellungen sowie die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Thema zusammengetragen und öffentlich gemacht.

**2. Erstlektüre**

Die Erstlektüre erfolgt in Einzellektüre oder als Hörspiel. Die Wirkung eines Textes hängt wesentlich von seiner Darbietung ab. Es gibt keine Alternative zur professionellen eingeübten Präsentation. Die Erstlektüre in Rollen durch Schülerinnen und Schüler an einem unbekanntem schwierigen Text verbietet sich in der Regel an dieser Stelle.

**3. Erstreflexion**

In einem ersten Rezeptionsgespräch tauschen sich die Lernenden aus. Der Lehrer erfährt etwas über den Verstehensgrad und die Verstehensiefe, über die Wirkung, den Zugang und über die offenen Fragen und Verstehensprobleme.

**4. Detaillektüre**

Er erfolgt eine Detailbearbeitung am Text mithilfe von Arbeitsaufträgen. Eine Zeilennummerierung bei umfangreichen Texten ist dabei hilfreich. Hier erfolgt die detaillierte und intensive Auseinandersetzung mit dem Text und der Argumentationsstruktur.

**5. Zweitreflexion**

Die Bearbeitung der Detaillektüre wird im Plenum besprochen, offene Fragen werden geklärt.

**6. Szenisches Lesen**

Der Dialogtext wird in verteilten Rollen eingeübt und szenisch gelesen.

**7. Bewertung und Produktion**

Anhand des Beispiels wird bewertet, wie sich wissenschaftliche Ideen entwickeln und durchsetzen. Die Erkenntnisse werden anhand von Quellentexten oder wissenschaftshistorischen Begleittexten ggf. vertieft.

modernen Personen zum Erdmagnetismus (s. [16]);

- Dialog über die „Vollständigkeit der Quantenphysik“ zwischen „Realisten“ und „Kopenhagenern“ (s. [11]).

Szenische Dialoge lassen sich aber nicht nur über die bedeutsamen wissenschaftshistorischen Ereignisse verfassen, sondern ebenso gut über die „kleinen Dinge der Physik“:

- Dialog zwischen einer aufgeweckten Schülerin und einem Physiker über die Existenz von Atomen (s. [13]);
- Dialog zwischen Archimedes und König Hieron gemäß der Sage über den Auftrieb (s. [14]);
- Dialog zwischen Schülerinnen und Schülern über mögliche Vorstellungen vom Sehen (Sehstrahlenvorstellung,

Sender-Empfänger-Vorstellung, Scan-Vorstellung);

- Dialog zwischen einem Laien und einem Physiker über Farben.

Im Grunde lässt sich jedes Thema in einen Dialog fassen. Jedes physikalische Gespräch legt davon Zeugnis ab. Ein guter szenischer Dialog ist somit letztlich das von einem Autor verfasste Musterbeispiel eines idealen „sokratischen Dialoges“.

**Ein szenischer Dialog zur kopernikanischen Wende**

Die kopernikanische Wende ist ein Meilenstein in der Wissenschaftsgeschichte. Das Thema ist wissenschaftshistorisch

sperrig und knüpft zudem an einem etwas abseits liegenden Unterrichtsthema an, nämlich an der Astronomie. Andererseits zeigen alle Unterrichtserfahrungen, dass es das Interesse der Schülerinnen und Schüler trifft.

### Hintergrund

Kopernikus will die Astronomie nicht revolutionieren und nicht unter allen Umständen erneuern, nicht unbedingt bessere Vorhersagen der Himmelserscheinungen machen. Er will nicht ein einfacheres System entwickeln, sondern ein „vernünftigeres“, d. h. in Übereinstimmung mit den Grundlagen der aristotelischen Physik. Kopernikus ist ein Revolutionär wider Willen. Er ist fest davon überzeugt, dass die Astronomie richtig wird, wenn die physikalischen Prinzipien strikt eingehalten werden. Kopernikus' erstes und eigentliches Ziel ist es, die ptolemaische Ausgleichsbewegung mittels gleichförmiger Kreisbewegungen korrekt wiederzugeben.

### Literatur

Die Originalschriften ([2], [3]) sind – wenn nicht ein ganz spezielles wissenschaftshistorisches Interesse vorliegt – nicht zu empfehlen. Die umfangreiche Sekundärliteratur (z. B. [4]–[7]) ist didaktisch nicht aufbereitet. Sehr aufschlussreich, wissenschaftshistorisch abgesichert und didaktisch gut nutzbar ist die Veröffentlichung [8]. Sie liegt dem nachfolgenden szenischen Dialog in weiten Teilen zugrunde. Zur wissenschaftsgeschichtlichen Einarbeitung in das Thema „Wandel des Weltbildes“ ist [7] sehr geeignet.

### Lernziele

Es geht nicht darum, in der Schule Wissenschaftsgeschichte zu betreiben, sondern durch den Rückgriff auf die Genese physikalischer Erkenntnisse sollen Schülerinnen und Schüler ein Verständnis davon entwickeln, wie es zum wissenschaftlichen Fortschreiten kommen kann und wie die heliozentrische Idee denknotwendig wurde. Entsprechend zielt der hier vorgestellte Unterricht darauf ab, dass die Lernenden verstehen,

- dass die kopernikanische Wende eine „Revolution der Ideen“ war, die ihre Triebkraft aus metaphysischen Überzeugungen heraus bezog,

- dass die Heliostatik das Resultat der Restauration alter physikalischer Prinzipien darstellte und dass der metaphysisch geprägte Rückgriff auf alte Denkweisen und Prinzipien zu einer neuen Weltsehweise führte,
- wie die Entstehungsbedingungen der „Revolution“ waren, welche Motive Kopernikus hatte, welche Methoden der Problemerkennung und Problemlösung es gab,
- dass die Weltsicht wesentlich von der zugrunde gelegten Physik bestimmt wird,
- wie es am Beispiel der kopernikanischen Wende zum wissenschaftlichen Fortschreiten kommen konnte.

### Astronomisches Vorwissen

Es wird davon ausgegangen, dass kein Astronomieunterricht im Vorfeld stattfand. Um die kopernikanische Wende zu verstehen, bedarf es einiger astronomischer und wissenschaftshistorischer Kenntnisse:

- elementare Kenntnisse über den Sternhimmel und einiger Sternbilder,
- Kenntnis der Begriffe Planeten, tägliche und jährliche Rotation,
- Kenntnis der 1. und 2. Ungleichheit,
- elementare Kenntnisse über historische Zeitperioden (Zeitstrahl).

Diese astronomischen und historischen Kenntnisse werden in den Dialog passend eingebunden. Wenn elementare astronomische Kenntnisse vorliegen, so erleichtert es den Einsatz des Dialogs und ist gewinnbringend.

### Einsatz des Dialogs zur kopernikanischen Wende im Unterricht

Der Dialog ist umfangreich und bedarf einer Lektürezeit von etwa 30 Minuten. Kürzt man ihn, so gehen wichtige Sachinhalte und Argumentationen verloren und das zentrale Ziel, wie es zum wissenschaftlichen Fortschreiten kommen kann und wie die heliozentrische Idee denknotwendig wurde, kann nicht mehr erreicht werden. In der umfangreichen Bearbeitung benötigt man einen Zeitansatz von drei bis vier Unterrichtsstunden. Das Anspruchsniveau auf der Sach-, Text- und Argumentationsebene ist sehr hoch.

Das **Arbeitsblatt** mit den umfangreichen Arbeitsaufträgen zeigt das Spektrum der Bearbeitungsmöglichkeiten in

der Klasse. Kürzungen und Erweiterungen sind gleichermaßen möglich.

### Literatur

- [1] Leisen, J.: Der Szenische Dialog. Ein unterrichtsmethodischer Vorschlag zu Physik und Philosophie. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik 4 (1999), S. 35–37.
- [2] Kopernikus, N.: Erster Entwurf seines Weltsystems. Nach Handschriften hrsg., übersetzt und erläutert von Fritz Rossmann. München: 1948.
- [3] Kopernikus, N.: De revolutionibus orbium coelestium, Libri VI. Nürnberg: 1543.
- [4] Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): Nicolaus Kopernikus (1473–1543). Revolutionär wider Willen. Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaft und der Technik, 1994.
- [5] Kuhn, Thomas S.: Die kopernikanische Revolution. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 1980.
- [6] Blumenberg, Hans: Die Genesis der kopernikanischen Welt, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1975.
- [7] Teichmann, Jürgen: Wandel des Weltbildes. Astronomie, Physik und Meßtechnik in der Kulturgeschichte. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1985.
- [8] Krafft, F.: Die sogenannte Copernicanische Revolution. In: Physik und Didaktik 49 (1974), S. 276–290.
- [9] Leisen, Josef: Der Vorstellungswechsel über Naturvorgänge und die Mathematisierung der Physik. Eine Aufgabe zur Mechanik. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik 35 (1986), Heft 2, S. 44–46.
- [10] Galilei, Galileo: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme – das ptolemäische und das kopernikanische. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1982.
- [11] Jauch, Josef J.: Die Wirklichkeit der Quanten. Ein zeitgenössischer galileischer Dialog. München: Carl Hanser, 1973.
- [12] Sexl, Roman: Die Hohlwelttheorie. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 36 (1983), Heft 8, S. 241–258.
- [13] Leisen, Josef: Der Szenische Dialog. Ein unterrichtsmethodischer Vorschlag zu Physik und Philosophie. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik 48 (1999), Heft 4, S. 35–37.
- [14] Leisen, Josef: Heureka! Ich habe den Auftrieb verstanden! In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 16 (2005), Heft 87, S. 12–15.
- [15] [http://www.uni-potsdam.de/db/physik\\_didaktik/files/goethe.pdf?100,85](http://www.uni-potsdam.de/db/physik_didaktik/files/goethe.pdf?100,85)
- [16] Kaspar, L.: Tafelrunde – Erdmagnetismus. CD-ROM. (Potsdam: 2005.) Seelze: Friedrich, 2008. Best.-Nr. 62331.

# Dialog über die kopernikanische Wende

## ▼ ARBEITSAUFTRÄGE

### 1. Vorwissen: Was weiß ich von der Geschichte der heliozentrischen Idee?

- Was sagen dir die astronomischen Begriffe: Sternbild, großer Wagen, Löwe, Orion, Polarstern?
- Was sind nach deinem Verständnis: Sterne, Sonnen, Planeten, Monde, Kometen?
- Stell dir vor, du beobachtest über viele Monate jeden Abend den nächtlichen Sternenhimmel. Welche Bewegungen der Sterne und der Planeten würdest du beobachten?
- Zeichne dein momentanes Verständnis vom geozentrischen und heliozentrischen Aufbau des Kosmos auf. Notiere Argumente für das eine und das andere System.
- Wie erklärst du dir die Jahreszeiten und dass die Sonne im Winter niedriger steht als im Sommer?

### 2. Erstlektüre: Ich lese den Dialogtext einmal komplett durch.

- *Hausaufgabe:* Lies den Dialogtext einmal komplett durch. Du benötigst dazu mindestens 30 Minuten.
- Markiere Begriffe, Sätze oder Abschnitte, zu denen du Erklärungen haben und Fragen stellen möchtest.

### 3. Erstreflexion: Ich tausche mich mit anderen in der Klasse darüber aus, was ich verstanden habe.

- Einigt euch auf Fragen, die ihr noch klären müsst und die ihr dem Lehrer stellen wollt.
- Tauscht euch in der Klasse – ohne in den Text zu sehen – darüber aus, wie sich die heliozentrische Idee durchgesetzt hat und was die Widerstände waren.

### 4. Detaillektüre: Ich bearbeite Detailfragen am Text.

- Nenne die drei Prinzipien, die Aristoteles formulierte. Was macht den Charme dieser Prinzipien aus und warum wurden sie so lange akzeptiert?
- Nenne Beobachtungen, die den Prinzipien widersprechen.
- Wie hat Hipparch ein Prinzip gerettet? Erkläre die Exzenter-Theorie mit Zeichnung und Erläuterungen.
- Wie hat Apollonius ein anderes Prinzip gerettet? Erkläre die Epizykel-Theorie mit Zeichnung und Erläuterungen.
- Warum reichte das nicht, und welches Prinzip wurde verletzt?
- Wie hat Ptolemaios das Prinzip gerettet? Erkläre die Ausgleichs-Theorie mit Zeichnung und Erläuterungen.
- Was störte Kopernikus an dem System und wie ging er vor?
- Erkläre die Planetenschleifen nach Kopernikus mit Zeichnung und Erläuterungen.
- In welchen Punkten ist Aristoteles mit Kopernikus zufrieden und in welchen erbost er sich über ihn?

### 5. Zweitreflexion: Wir tauschen uns in der Klasse aus, diskutieren kritische Textstellen und nehmen Stellung.

- Vergleiche die Bearbeitungen in Aufgabe 4 im Plenum. Nutzt dazu die Folien aus dem Text, die euch der Lehrer bereitstellt.
- Diskutiert kritische Textstellen und stellt Fragen an den Lehrer.

### 6. Szenisches Lesen: Der Dialogtext wird in verteilten (eingeübten) Rollen szenisch gelesen.

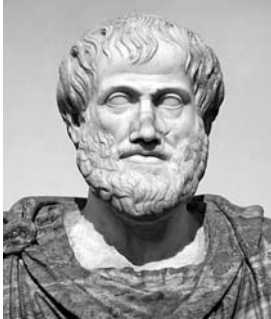
- Verteilt die Rollen, bereitet die Rollentexte als Hausaufgabe vor und lest den Dialog szenisch.
- Bewertet den szenischen Vortrag nach den bekannten Kriterien aus dem Deutschunterricht.

### 7. Bewertung und Produktion: Wir bewerten anhand dieses Beispiels die Frage, wie sich wissenschaftliche Ideen entwickeln und durchsetzen, und vertiefen unsere Erkenntnis anhand von Quellentexten oder wissenschaftshistorischen Begleittexten.

- Bewertet anhand des Beispiels die Fragen:
  - Wie können Forscher überhaupt auf ihre wissenschaftlichen Ideen kommen?
  - Warum setzen sich wissenschaftliche Ideen manchmal lange nicht oder erst unter Mühen und langsam durch, andere hingegen verbreiten sich schnell und explosionsartig?
  - Nenne Beispiele aus deinem eigenen Umfeld, der Politik und gesellschaftlichem Leben, wie sich etwas langsam und stetig oder etwas sehr plötzlich und umfassend verändert.
  - Für die Entwicklung neuen physikalischen Wissen sind Ideen und Gedanken einerseits und Beobachtungen andererseits bedeutsam. Trifft diese Aussage für die Entwicklung vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild zu? Begründe!
- Nutzt folgende Links und Texte zur Vertiefung:
  - Vergleich der helio- und geozentrischen Modelle: <http://www.jgiesen.de/geocentric/index.html>
  - Eudoxus – die Erde ist genauer Mittelpunkt der Welt ([7], S. 33–34)
  - Ptolemäus – der Himmel wird kompliziert ([7], S. 38–41, S. 44–47, S. 48–49, S. 50–51, S. 56)
  - Copernicus und seine Nachfolger ([7], S. 56–58, S. 58–61)

## Szenischer Dialog

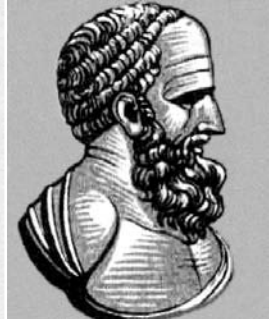
Der Dialog ist als fiktive Podiumsdiskussion für Schülerinnen und Schüler in der Schulaula zwischen den notwendigsten historischen Protagonisten gestaltet. Ein Moderator moderiert das Gespräch und fragt aus der Sicht der Jugendlichen nach.



**Aristoteles**  
(384–322 v. Chr.)



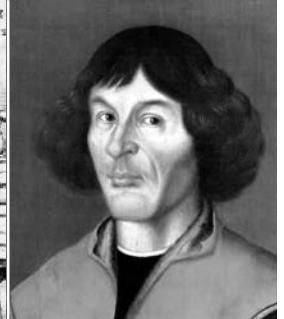
**Apollonius**  
(262–190 v. Chr.)



**Hipparch**  
(190–120 v. Chr.)



**Ptolemaios**  
(90–160)



**Kopernikus**  
(1473–1543)

**Moderator:** Guten Tag, liebe Schülerinnen und Schüler, ich begrüße euch zu einer außerordentlichen Podiumsdiskussion mit erlauchten Philosophen und Astronomen aus zwei Jahrtausenden, namentlich die Herren Aristoteles, Apollonius, Hipparch, Ptolemaios und Kopernikus. Wir möchten heute der Frage nachgehen: Wie entstehen eigentlich neue Weltbilder?

Über zwei Jahrtausende lang war die Menschheit der Auffassung, dass sich die Sonne und die Sterne, ja der gesamte Kosmos, um die Erde drehten. Sie, Herr Kopernikus, stürzten die Erde von ihrem Platz in der Mitte und setzten dorthin die Sonne. Natürlich nur in der Vorstellung, in unserem Weltbild. Sie haben die Wende vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild eingeleitet. Das war, wie wir heute wissen, eine wissenschaftliche Revolution. Wir wollen in der heutigen Podiumsdiskussion der Frage nachgehen: Wie kamen Sie dazu, das Weltbild so radikal zu verändern? Herr Aristoteles, mit Ihnen fing alles an.

**Aristoteles:** Nein, nein, ich stehe da in der langen Tradition unserer Art des Philosophierens in Griechenland. Ich lebte bekanntlich von 384 bis 322 v. Chr. in der Blütezeit der Philosophie in unserer herrlichen Stadt Athen.

**Moderator:** Sie waren also kein Astronom?

**Aristoteles:** Nein, ich war Naturphilosoph und beschäftigte mich mit den grundsätzlichen Fragen nach der Natur der Natur. Ich formulierte Prinzipien, die der Natur zugrunde liegen, solche, die uns die Vorgänge der Natur erklären. Das war ja gerade die Errungenschaft unserer Art des Philosophierens. Wenn ich „wir“ sage, dann drücke ich damit aus, dass es in unserer Stadt viele Philosophen mit den unterschiedlichsten Ideen gab. Eine großartige, ein faszinierende Zeit. Mein Lehrer Platon führte mich in seiner berühmten Akademie in die griechische Philosophie ein und nach seinem Tode gründete ich eine eigene philosophische Schule. Ich dachte und schrieb über Philosophie, Ethik, Politik, Rhetorik, Poetik, Physik und Metaphysik.

**Moderator:** Jetzt müssen Sie uns erklären, was Sie mit der Astronomie – oder muss ich sagen Kosmologie – zu tun hatten?

**Aristoteles:** Beides! Wenn man die Natur rational verstehen will, wenn man also, wie alle griechischen Naturphilosophen es wollten, ein schlüssiges Gedankengebäude errichtet, das uns erklärt, wie Natur, wie der Kosmos funktioniert, dann braucht man Prinzipien. Darüber, welches nun die wahren Prinzipien sind, darüber haben wir unendlich oft gestritten, ohne uns einigen zu können.

Ich habe für die Bewegungen am Himmel drei Prinzipien aufgestellt: Die Himmelsbewegungen sind 1. unveränderlich, 2. kreisförmig und 3. gleichförmig. Alle Bewegungen am Himmel lassen sich also damit erklären. Sie lassen sich auf die idealsten Bewegungen zurückführen, die es gibt, nämlich unveränderliche, kreisförmige Kreisbewegungen. Ich weiß, ich habe den Astronomen damit eine große Aufgabe gestellt.

**Moderator:** In der Tat. Beim täglichen Lauf der Sonne von ihrem Aufgang im Osten bis zum Untergang im Westen und beim Lauf der Fixsterne in der Nacht scheinen ihre Prinzipien zuzutreffen. Wir können uns gut vorstellen, dass sich der gesamte Kosmos und damit die Sonne, der Mond, jeder Stern täglich einmal gleichförmig auf einer Kreisbahn um die Erde wälzt.

**Aristoteles:** So einfach ist es ja nicht. Jeder weiß doch, dass es auch ein jährliches Umwälzen des ganzen Kosmos gibt. Ein täglicher Blick in den nächtlichen Sternenhimmel zeigt doch, dass im Sommer andere Sternbilder zu sehen sind als im Winter. Wenn wir z. B. immer um Mitternacht nach Süden schauen, sehen wir im Sommer das Sternbild Schütze, im Winter das Sternbild Zwillinge und den Orion. Also dreht sich der Kosmos einmal pro Jahr gleich- und kreisförmig um die Erde herum.

**Hipparch:** (*erbozt*) Stimmt nicht! Falsch, alles falsch!

**Aristoteles:** Ja, ja, Herr Hipparch, das ist mir durchaus bewusst, aber wir wollen es doch den Schülern verständlich machen.

**Hipparch:** (*ungeduldig*) ... aber nichts Falsches, bitte nichts Falsches! Richtig ist, dass sich sowohl die Sonne als auch alle Fixsterne mal schneller und mal langsamer bewegen, also von der Erde aus gesehen ungleichförmig! Herr Aristoteles, ich betone: ungleichförmig!

**Moderator:** Herr Hipparch, wir wissen, Sie werden als Vater der wissenschaftlichen Astronomie bezeichnet, Sie haben mit der damals höchsten Genauigkeit gearbeitet, Sie ...

**Hipparch:** ... jawohl, meine Daten waren die besten. Ich ging mit äußerster Genauigkeit vor, habe die Länge der Jahreszeiten mit einer Präzision bestimmt, worüber sich die heutigen Astronomen mit ihren teuren Geräten immer noch wundern! Jawohl, ich habe astronomische Methoden erfunden, ich katalogisierte 800 Sterne, ich habe die besten Tafelwerke mit den Sternpositionen erstellt, jawohl, ich habe 14 Bücher geschrieben, von denen leider alle verschollen sind, ...

**Moderator:** Herr Hipparch, wir haben hier Abbildungen, die auf Ihre Daten zurückgehen. Bitte erläutern Sie uns das. **Abbildung 1** bitte!

**Hipparch:** Wenn man genau misst, so wie ich das getan habe, dann stellt man erstens fest, dass die Jahreszeiten nicht gleich lang sind. Der Sommer ist um einige Tage länger als der Winter. Zweitens sieht man, dass die Sonne im Winter größer ist als im Sommer, und man bemerkt drittens, dass die Sonne im Sommer langsamer läuft als im Winter. Alles das ist von mir. Ich habe die besten Daten für diese 1. Ungleichheit – auch 1. Anomalie genannt – gefunden. Ich war es!

**Moderator:** Und was sagt uns das?

**Hipparch:** Was uns das sagt? Der Aristoteles denkt zu kurz! Aber ich kann seine gleichförmigen Kreisbewegungen retten! Dazu setze ich die Kreisbahn der Sonne exzentrisch zur Erde wie in **Abbildung 2**, d. h., die Sonne ist im Winter der Erde näher und im Sommer ferner, dann erscheint sie uns im Winter größer und im Sommer kleiner, dann läuft sie im Winter schneller und im Sommer langsamer. Heureka, ich hab's gefunden! So rief doch der alte Archimedes in solchen Fällen! Ich habe Aristoteles' gleichförmige Kreisbahnen gerettet!

**Aristoteles und Kopernikus:** (*raunend*) Angeber!

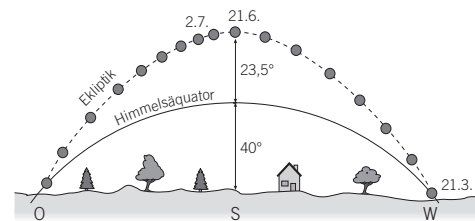
**Moderator:** Herr Aristoteles, was sagen Sie dazu? Ist das in Ihrem Sinne?

**Unterschiedliche Dauer der Jahreszeiten**

Frühling	92 d 22 h
Sommer	93 d 14 h
Herbst	89 d 17 h
Winter	89 d 1 h

**Unterschiedliche scheinbare Sonnengröße**

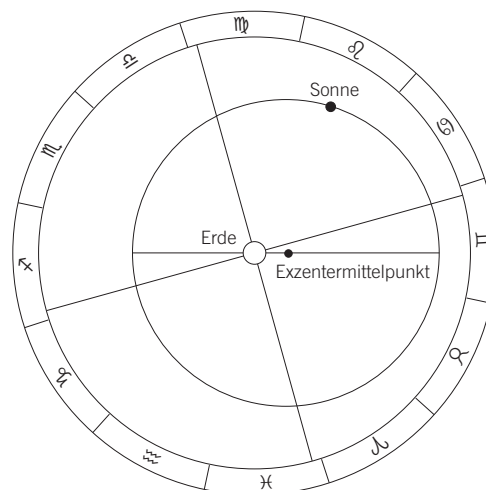
1. Januar	32' 35"	20. Juli	31' 32"
10. Februar	32' 28"	29. August	31' 44"
22. März	31' 47"	8. Oktober	32' 4"
1. Mai	31' 33"	17. November	32' 25"
10. Juni	31' 33"	27. Dezember	32' 35"



**Unterschiedliche Bahngeschwindigkeit der Sonne**

Am 21.3. markiere man den Stand der Sonne zur Zeit des Untergangs. Die Sonne steht im Frühlingspunkt. Man markiere den Stand der Sonne jeweils nach einem Sternentag 23 h 56' 4" (das ist die reale Rotationszeit der Erde). Man erhält die scheinbare Bewegung der Sonne entlang der Ekliptik. Der Lauf der Sonne ist unterschiedlich schnell. Anfang Juli ist die Sonne langsamer.

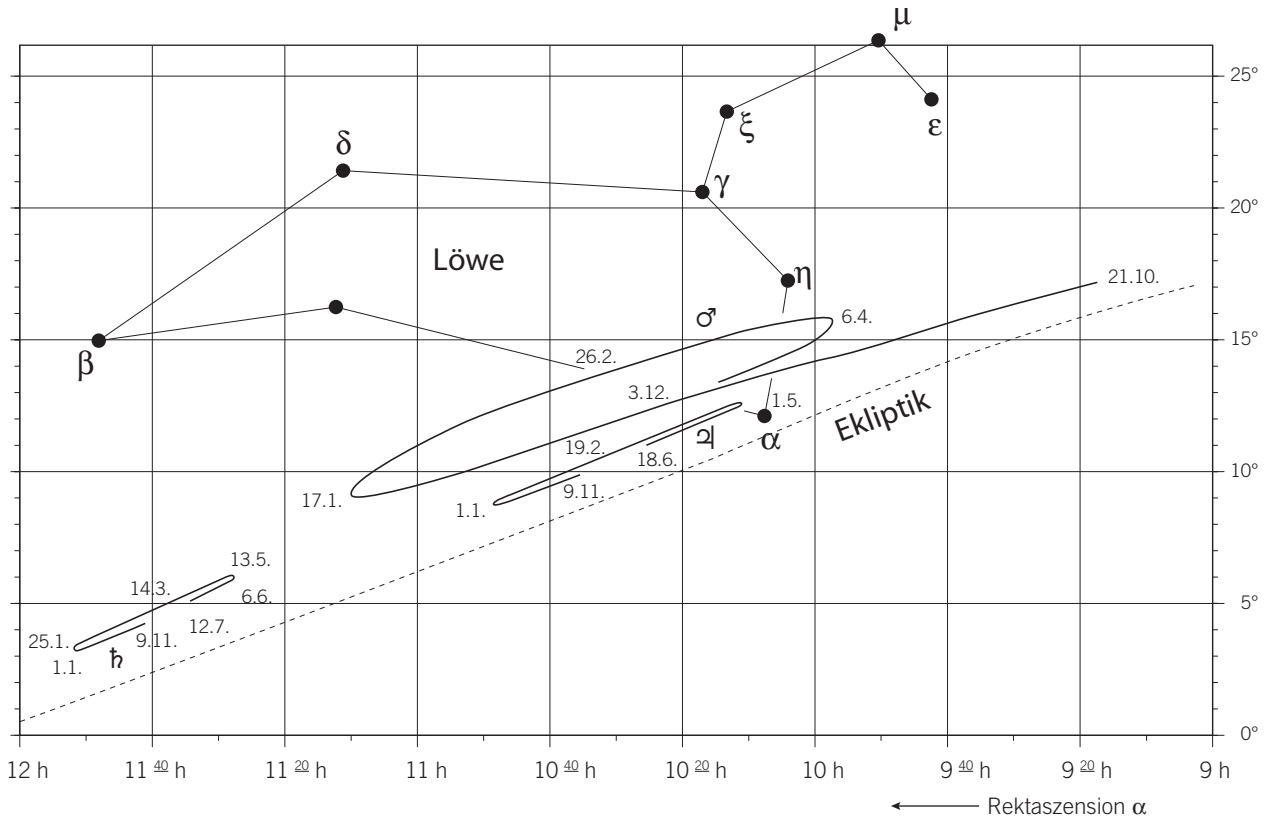
**Abb. 1:** Bewegung der Sonne



**Abb. 2:** Exzenter-Theorie

**Aristoteles:** (*bedächtig*) Ja, schon. Es ist des Herrn Hipparch's Verdienst, dass er so genaue Daten hat, und er hat es in meinem Sinne gedeutet. Kompliment!

**Moderator:** Historisch sind wir durch die Erläuterungen von Herrn Hipparch etwas zu schnell gewesen. Ihr Geburtsjahr 190 v. Chr. ist nämlich das Todesjahr von Ihnen, Herr Apollonius. Sie haben, wenn ich richtig informiert bin, das Problem mit den Schleifen gelöst. Manche Bewegungen am Himmel sind nämlich alles andere als unveränderliche, kreisförmige Kreisbewegungen. Das sehen wir uns einmal an. Ich bitte um die **Abbildung 3**.



**Abb. 3:** Schleifenbewegungen der Planeten

**Hipparch:** Boahh, ... fantastisch! Drei Planeten auf einen Schlag: Mars, Jupiter und Saturn im Sternbild des Löwen! Einfach fantastisch! Wann war das?

**Moderator:** Die Aufnahmen sind im Jahre 1979 und 1980 gemacht worden. Wir sehen hier das Sternbild des Löwen. Dann sehen wir noch drei unterschiedlich große Schleifen eingezeichnet, an die verschiedene Tage notiert sind. Das sollte uns ein Astronom erläutern. Herr Ptolemaios, Sie vielleicht?

**Ptolemaios:** Ja, damit habe ich mich ein ganzes Leben lang beschäftigt.

**Hipparch:** (*erbozt*) Ich auch!

**Apollonius:** (*bescheiden*) Ich auch!

**Ptolemaios:** Ja, wir alle! – Herr Aristoteles, Sie haben uns da nämlich mit Ihren einfachen Prinzipien ein riesiges Problem aufgetischt, an dem wir 2000 Jahre zu knabbern hatten.

**Hipparch:** ... und wir haben es gelöst!

**Aristoteles und Kopernikus:** (*raunend*) Na ja, ...

**Moderator:** Bitte, meine Herren! Herr Ptolemaios, erklären Sie uns jetzt endlich die Schleifen.

**Ptolemaios:** Wir haben ja die Fixsterne, die sind unveränderlich, und dann haben wir noch die sieben Wandelsterne, auch Planeten genannt. Die wichtigsten und hellsten sind natürlich Sonne und Mond. Dann gibt es noch Merkur und Venus und noch drei weitere, nämlich Mars, Jupiter und Saturn. Sehen wir uns jetzt im Bild an, wo sie am 1.1.1980 stehen. Hier, hier und ... hier (*auf das Datum zeigend*). Wenn wir in der Neujahrsnacht 1980 beobachten, dann vollziehen sie zusammen mit den Fixsternen ihre nächtliche Bahn. Beobachten wir sie einige Tage später wieder, dann sind sie zwischenzeitlich ein Stück weitergewandert. Mal laufen sie vor, mal zurück, und ihnen auf die Spur zu kommen, also ihre Bahn vorauszuberechnen, das ist sehr schwer, daran haben wir Astronomen uns die Zähne ausgebissen. Aber ...

**Moderator:** Danke, Herr Ptolemaios, an dieser Stelle! Ich verstehe Sie richtig: Ihre Aufgabe als Astronom ist es, die Bahn der Planeten vorauszuberechnen, und das nur mit den von Herrn Aristoteles formulierten Prinzipien, nämlich nur mit kreisförmigen Kreisbewegungen. Ist das richtig? Herr Apollonius, Sie haben das Problem gelöst.

**Apollonius:** (*bescheiden*) Hab ich, und zwar streng die Prinzipien von Herrn Aristoteles befolgend.

**Aristoteles:** (*freudig*) Schön, schön!

**Apollonius:** Im Zentrum steht klar die Erde. Die Planetenschleife erkläre ich mit **Abbildung 4** folgendermaßen: Ich setzte auf den Kreis, den sogenannten Deferenten, einen zweiten kleineren Kreis, den sogenannten Epizykel, der den Planeten trägt und der in derselben Richtung rotiert. Wenn beide Bewegungen zusammengesetzt werden, dann vollführt der Planet von der Erde aus betrachtet eine Schleifenbewegung und die Physik unseres verehrten Herrn Aristoteles (*macht eine Geste der Hochachtung in Richtung zu Aristoteles*) ist gerettet.

**Moderator:** ... und warum sind einige Schleifen größer, andere kleiner, einige geöffnet, andere geschlossen?

**Apollonius:** Nun, je nach Entfernung des Planeten und je nach Drehgeschwindigkeit erscheinen sie uns größer oder kleiner und wir schauen auch gelegentlich schräg auf die Kreise, dann erscheinen Sie uns geöffnet.

**Moderator:** Damit haben wir also auch die 2. Ungleichheit – auch 2. Anomalie genannt – erklärt und damit wären doch alle Probleme gelöst, wenn ...

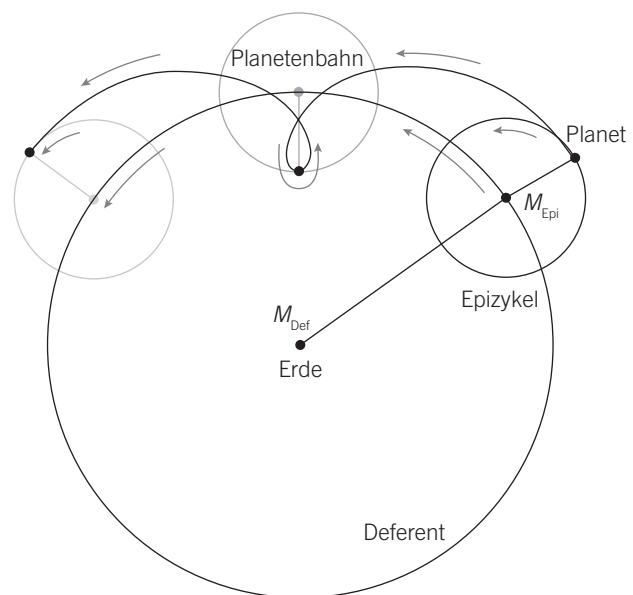
**Hipparch:** ... wenn meine Daten nicht gewesen wären. Ich ging mit äußerster Genauigkeit vor, habe die Länge der Jahreszeiten mit einer Präzision bestimmt, worüber sich die heutigen Astronomen mit Ihren teuren Geräten immer noch wundern! Jawohl, ich habe astronomische Methoden erfunden, jawohl, ich habe 800 Sterne katalogisiert, ich habe die besten Tafelwerke mit den Sternpositionen erstellt, jawohl, ich habe 14 Bücher geschrieben, von denen leider alle verschollen sind ...

**Moderator:** ... aber, Herr Hipparch, das wissen wir doch bereits. Herr Ptolemaios hat ihre Werke glücklicherweise in seinem großen Werk „Almagest“ überliefert.

**Hipparch:** ... geklaut hat er sie!

**Ptolemaios:** Lächerlich, ich lebte 300 Jahre nach Ihnen. Hätte ich mein Buch nicht geschrieben, wüssten wir heute nichts mehr über Sie. Ja, ich bewundere Ihre Präzision, Ihre riesige Arbeitsleistung. Sie haben die Astronomie enorm bereichert. Das ist Ihr Verdienst, und ich habe Sie in meinem Werk redlich erwähnt.

**Hipparch:** Muss ich jetzt vor Dankbarkeit auf die Knie fallen?



**Abb. 4:** Epizykel-Theorie  
(nach: <http://de.wikipedia.org/wiki/Epizykeltheorie>)



**Moderator:** Meine Herren, ich bitte Sie, lassen Sie den Streit.

**Hipparch:** Ehre, wem Ehre gebührt.

**Kopernikus:** (*raunend*) Angeber!

**Moderator:** Herr Ptolemaios, bitte erklären Sie!

**Ptolemaios:** Nun, wir Astronomen haben verständlicherweise die Exzenter-Theorie und die Epizykel-Theorie bei den Planeten miteinander kombiniert. Nun stellten wir aber fest, dass die Exzentrizität von Herrn Hipparch nicht ausreicht, um die Daten richtig wiederzugeben. Wir hätten sie eigentlich verdoppeln müssen, also den Mittelpunkt des Deferenten doppelt so weit von der Erde wegschieben. Dann aber wären die Schleifendurchmesser in Erdnähe übergroß erschienen. Da fiel mir ein Trick ein: Der Epizykelmittelpunkt C bewegt sich nicht ...

**Moderator:** Herr Ptolemaios, das müssen Sie uns an **Abbildung 5** erklären.

**Ptolemaios:** Der Epizykelmittelpunkt C bewegt sich nicht gleichförmig in Bezug auf den Mittelpunkt des exzentrischen Deferenten M, sondern gleichförmig in Bezug auf einen dazu exzentrischen Ausgleichspunkt D, der sich (bei den äußeren Planeten) jenseits der exzentrischen Erde E im selben Abstand auf der Apsidenlinie nach A befindet.

**Aristoteles:** (*aufbrausend*) Das widerspricht meinen Prinzipien! C dreht sich nicht gleichförmig um seinen Mittelpunkt. Das ist nicht zulässig!

**Kopernikus:** (*zustimmend*) Jawohl, das widerspricht Ihren Prinzipien!

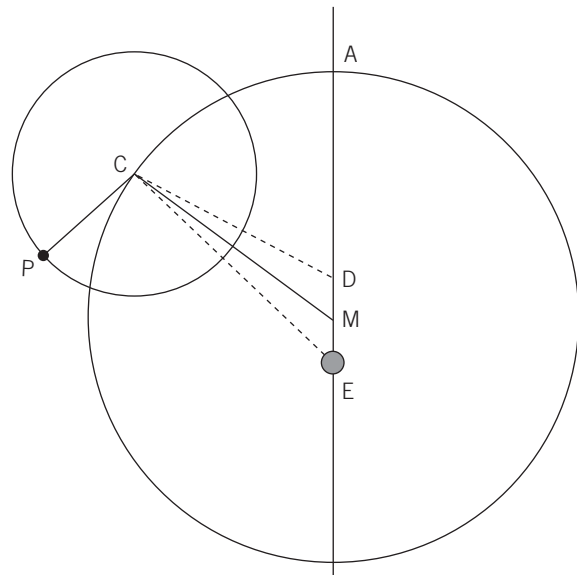
**Ptolemaios:** Aber es gibt die Phänomene richtig wieder. Was wollen wir mehr?

**Aristoteles:** (*bestimmt*) Das ist doch keine Naturphilosophie, das ist Stümperei, das ist Flickwerk!

**Kopernikus:** (*zustimmend*) Jawohl, das ist Verrat an den Prinzipien, das ist bestenfalls mathematisch, aber nicht wirklich. Und Sie machen für jeden einzelnen Planeten ein eigenes System. Das ist ein Monstersystem!

**Moderator:** Herr Kopernikus, Sie haben die Lösung?! Aber bevor wir Sie hören, müssen wir noch verstehen, warum das alles so lange gedauert hat. Herr Ptolemaios, Sie entwickelten Ihre Ausgleichstheorie im Jahre 150 n. Chr. Sie, Herr Kopernikus, entwickelten ihr System um das Jahr 1400. Tat sich denn in den 1200 Jahren dazwischen gar nichts, keine Fortschritte?

**Kopernikus:** (*bedächtig*) Das enorme Wissen der Antike versank über Jahrhunderte hinweg im Dunkel des Mittelalters. Es ist der Kultur des Islam zu verdanken, dass Ihre Werke, Herr Aristoteles, ins Arabische übersetzt wurden. Der große Averroes hat hier Grandioses geleistet und zu jedem Ihrer Werke einen Kommentar verfasst. Der Süden Spaniens, wo er lebte, war damals muslimisch mit den kulturellen Hochburgen Granada und Cordoba. Über Spanien fanden Ihre Schriften den Weg in den christlichen Westen und wurden ins Lateinische übersetzt. Männer wie Albertus Magnus und Thomas von Aquin im 13. Jahrhundert sind hier zu nennen. Im Zeitalter der Hochscholastik stritt man jedoch mehr theologisch als astronomisch. Das Kalenderwesen machte uns damals größte Sorge. Die Vorausberechnungen stimmten immer weniger, und wir wurden mit der Astronomie immer unzufriedener. Irgendetwas stimmte nicht.



**Abb. 5:** Kombination von Exzenter- und Epizykeltheorie (Ausgleichstheorie)

**Moderator:** Ja, und wie gingen Sie das Problem an?

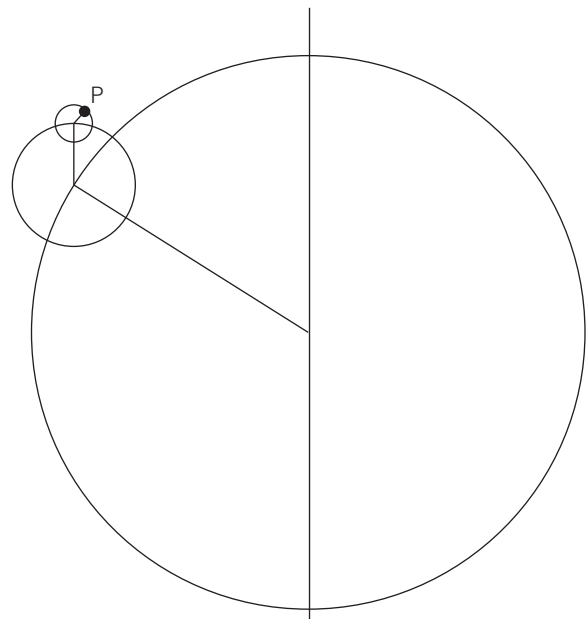
**Kopernikus:** Herr Ptolemaios, Ihr System ist eine mathematisch-hypothetische Theorie, die nicht die Wirklichkeit beschreibt, weil es nicht auf den Prinzipien des Aristoteles beruht. Ich war der Auffassung, dass die Astronomie die Wirklichkeit beschreibt, dass die Phänomene zwangsläufig korrekt wiedergegeben werden, wenn nur die physikalischen Prinzipien des Aristoteles eingehalten würden. Mein Programm war es, Ihre Ausgleichsbewegung, Herr Ptolemaios, mittels gleichförmiger Kreisbewegungen wiederzugeben, denn an der Richtigkeit der zugrunde gelegten Daten habe ich nie gezweifelt.

**Aristoteles:** Endlich jemand, der meine Prinzipien wieder respektiert.

**Moderator:** Herr Kopernikus, wenn ich es recht sehe, dann war Ihr Programm mehr Restauration als Reformation.

**Kopernikus:** Richtig! Zunächst musste ich ihre Ausgleichsbewegung, Herr Ptolemaios, mittels gleichförmiger Kreisbewegungen ersetzen. Das gelang mir mittels einer doppel-epizyklischen Bewegung.

**Moderator:** Epizykel auf Epizykel? Das macht doch alles noch komplizierter? Zeigen Sie uns das an **Abbildung 6**.



**Abb. 6:** Doppel-Epizykel-System

**Kopernikus:** Der erste größere Epizykel rotiert auf dem Deferenten in der Gegenrichtung wie dessen Mittelpunkt rotiert. Damit bekomme ich eine exzentrische Bewegung. Drauf rotiert ein kleinerer Epizykel mit doppelter Geschwindigkeit in die Gegenrichtung des größeren Epizykels. Beides zusammen ergibt genau Ihre Ausgleichsbewegung, Herr Ptolemaios.

**Ptolemaios:** Das stimmt, mit dem Doppel-epizykel können Sie meine Ausgleichsbewegung wiedergeben, aber Sie haben ein neues Problem: Sie haben die Epizykelmethode schon verbraucht und müssen sich etwas Neues überlegen, um die Planetenschleifen wiederzugeben. Da bin ich aber gespannt.

**Aristoteles:** Da bin ich aber auch gespannt, wie Sie das machen. Auf jeden Fall, bis jetzt haben Sie nur gleichförmige Kreisbewegungen benutzt und die missliche Ausgleichsbewegung von Herrn Ptolemaios elegant gelöst. Mein Kompliment, Herr Kopernikus.

**Kopernikus:** Nun mir fiel auf, dass die Planetenschleifen etwas mit der Sonne zu tun haben. Uns Astronomen war doch schon seit langem bekannt, dass bei der Berechnung der Planetenbahnen und der Schleifenperioden immer die Periode der Sonnenbahn vorkam. Bekannt ist außerdem, dass Merkur und Venus nur in der Nähe Sonne erscheinen. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Schleifenbewegungen ist bei Merkur und Venus anders als bei Mars, Jupiter und Saturn. Die Sonne sticht im Vergleich zu den anderen Planeten im Verhältnis ihrer Größe zur Umlaufzeit hervor. Außerdem zeigt die Sonne als einziger Planet, abgesehen vom Mond, keine Schleifen. Alle diese Indizien führten mich zur Überzeugung, dass die Sonne eine Sonderstellung hat. In meiner Not, die Schleifenbewegung ohne Epizykel wiederzugeben, verfiel ich auf den Gedanken, einfach Erde und Sonne zu vertauschen – und es passte, ja es passte.

**Moderator:** Sie sagen, Sie haben – einfach aus der Not heraus – Sonne und Erde vertauscht? Einfach so? Nur weil es so viele Fingerzeige gab? Aber die waren doch lange schon bekannt?

**Kopernikus:** Sie haben Recht, eigentlich war alles schon bekannt, aber man war zu befangen, glaubte nicht an andere Lösungen. In meinem System ist die Schleifenbewegung nichts anderes als der Reflex der Erdbewegung am Himmel. Nichts macht Schleifen, das ist ganz einfach. Lassen Sie mich das Phänomen an einem Beispiel aus dem Alltag erläutern. Schauen Sie durch das Fenster in die Ferne. Bewegen Sie Ihren Kopf nach rechts. Das bewegt sich der Fensterrahmen scheinbar nach links und umgekehrt. Der

Fensterrahmen bewegt sich scheinbar vor dem Hintergrund, weil Sie ihren Kopf bewegen. Man nennt das Parallaxe. Und genauso ist das mit den Planetenschleifen. Schauen auf **Abbildung 7**.

Die Erde bewegt sich in den zwölf Monaten 1 bis 12 um die Sonne, auf einer exzentrischen Kreisbahn, Herr Aristoteles. Der Planet, nehmen wir den Mars, bewegt sich etwas langsamer auf seiner Bahn. Wir nehmen die Fixsterne als Hintergrund und markieren seine Position von der Erde aus gesehen. Die Schleife ist nichts anderes als die Parallaxe der Erdbewegung.

**Ptolemaios:** Stimmen denn die Rechnungen?

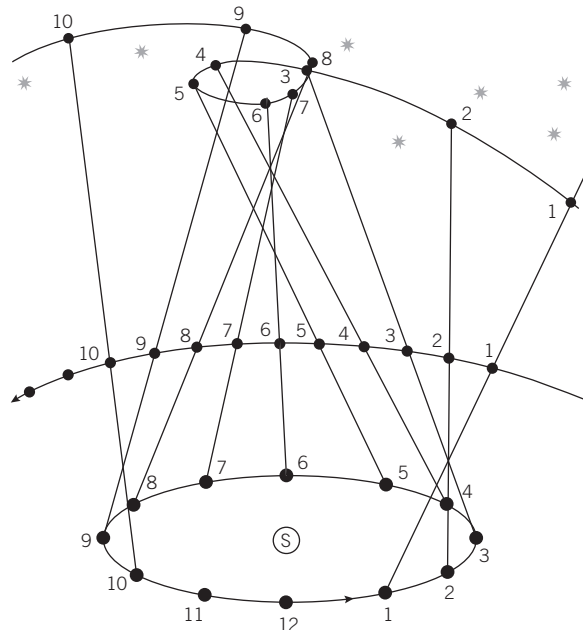
**Kopernikus:** In der Tat. Schauen Sie her. Ich lege in **Abbildung 8** die Berechnungen nach Ihnen, Herr Ptolemaios, in Schwarz und die meinen in Grau übereinander. Was sehen Sie? Der Planet P ist in Ihrem wie in meinem System an derselben Stelle.

**Aristoteles:** Und alles mit meinen Prinzipien! Fantastisch! Hervorragend, Herr Kopernikus, aber um einen hohen Preis: Die Erde steht nicht mehr im Zentrum des Kosmos! Nein, nein, der Preis ist zu hoch, viel zu hoch!

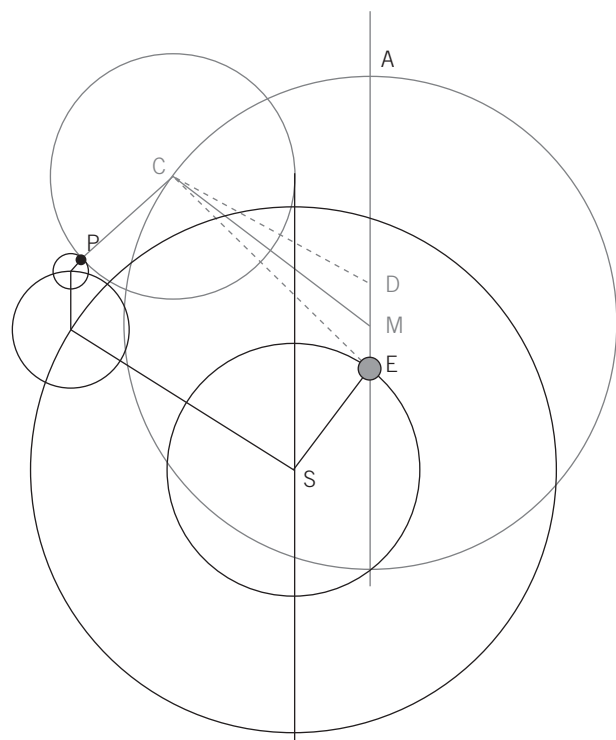
**Kopernikus:** In der Tat, mich schauderte, als ich den Gedanken hatte. Die Idee kam mir um das Jahr 1500. Im Jahre 1509 veröffentlichte ich es handschriftlich in meiner Schrift „Commentariolus“ (dt. kleiner Kommentar). Es haben wohl nur zwei Exemplare weltweit die Wirren der Zeiten überstanden. Ganze 34 Jahre wartete ich, bis ich dann ganz kurz vor meinem Tod mein Hauptwerk dennoch veröffentlichte. Zwischenzeitlich war Gewaltiges in der Welt geschehen: Ein einfacher Mönch aus Wittenberg, der Luther nämlich, erschütterte unsere heilige Kirche. Der Gutenberg aus Mainz hat zu meiner Lebzeit das Buchdrucken mit mechanischen Lettern erfunden, was mein Buch „De revolutionibus orbium coelestium“ erst möglich machte, und der Kolumbus aus Genua entdeckte immer neue Erdteile und fremde Welten. Welch ein Jahrhundert! Und dann mein Erdbeben in der Geisteswelt! Nein, ich wollte es nicht, ich wollte doch nur die Physik, Ihre Physik, Herr Aristoteles, retten.

**Moderator:** Lassen Sie mich zum Abschluss aus dem Vorwort Ihres Werkes zitieren: „Auch konnten sie (die Astronomen [J. L.]) die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die sichere Symmetrie ihrer Teile weder finden, noch aus jenen berechnen. Es ging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füße, Kopf und andere Glieder, zwar sehr schön, aber nicht im Verhältnisse zu einem einzigen Körper gezeichnet, nähme und, ohne dass sie sich irgend entsprächen, vielmehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte. Daher zeigt es sich, dass sie in dem Gange des Beweises, den man Methode nennt, entweder etwas Notwendiges übergangen oder etwas Fremdartiges und zur Sache nicht Gehörendes hinzugesetzt haben; was ihnen gewiss nicht widerfahren wäre, wenn sie sichere Prinzipien (Gleich- und Kreisförmigkeit [J. L.]) befolgt hätten.“  
Liebe Schülerinnen und Schüler, wir sind der Frage nachgegangen: Wie entstehen eigentlich neue Weltbilder? Erlauchte Philosophen und Astronomen haben uns durch ihr Wirken, ihre großartigen Leistungen geführt. Ich danke allen für die engagierte Diskussion und dafür, dass alle in der heutigen Sprache der Physik, in der heutigen Ausdrucksweise gesprochen haben. In der kommenden Woche fahren wir fort mit der Frage: Wie setzen sich neue Ideen durch? Auf dem Podium sitzen dann die Herren Aristoteles, Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton.

**Hipparch:** (enttäuscht und entrüstet) Ich nicht?!



**Abb. 7:** Schleifenbewegungen der Planeten als Folge der Parallaxe



**Abb. 8:** Das kopernikanische und das ptolemaische System führen zu den gleichen Planetenbewegungen