6

Zur Entwicklung der Naturwissenschaften vom Spätmittelalter bis in das 17. Jahrhundert

1 Abendländisches Hoch- und Spätmittelalter

1.1 ALLGEMEINES

Es war die von FULBERT von Chartres – einem Schüler GERBERTS von Aurillac an der Schule in Reims – 990 an der Kathedrale von Chartres gegründete Schule, an der man sich zuerst im Abendland wieder intensiver mit Naturphilosophie, d.h. Naturwissenschaft, zu beschäftigten begann. Es beginnt damit eine Phase des Wieder-Erwerbens mittlerweile vergessenen Wissens, die bis in das 14., in einzelnen Bereichen bis in das 15. Jh hinein andauert.

Dieser Prozess beruhte einerseits auf der eher spärlichen und qualitativ unzulänglichen direkten Überlieferung über die Spätantike und andererseits auf der stetig an Quantität und an Qualität gewinnenden Zufuhr von Überlieferung aus der Antike als auch Weiterführung dieser Überlieferung durch das Übersetzungswerk etwa von der Mitte des 12. Jhs an bis in das Ende des 13. Jhs. Im 14. Jh setzt dann die substantielle Ausweitung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse und der dafür notwendigen Methoden ein. Das Fundament, auf dem das möglich war, waren die Entwicklung des argumentativen Denkens einschließlich der Sprachlogik , die Überwindung des Autoritätsverfahrens, die Anerkennung des rationalen Verfahrens auch für die Theologie und damit die Akzeptierung der Philosophie neben der Theologie sowie schließlich die Entscheidung im Universalienstreit.

Der Erneuerungsprozess setzte ein, indem man einmal die [wissg-t-072-12::septem artes] und theologische Studien betrieb – FULBERT selbst stellte sich gegen rationalistische Auffassungen, die von ihm begründete Schule aber wurde rasch zu einem Zentrum, das Schüler nicht nur aus dem Umkreis, sondern auch aus England und Italien anzog und aus der eine Reihe von nachmals bedeutenden Köpfen hervorgegangen ist – einer von FULBERTS Schülern war BERENGAR VON TOURS, der wegen seiner Auffassung der Abendmahlslehre zum Häretiker erklärt worden ist. Nach und nach lernte man HIPPOKRATES VON KOS und GALEN kennen, setzte sich (über die vorerst noch wenigen Texte) mit PLATON auseinander, dem damals noch weit größere Bedeutung zukam als ARISTOTELES, und gewann im Zuge dessen Zugang zu in der Antike längst erarbeiteten Anschauungen und Kenntnissen einschließlich der Naturwissenschaften. Auch nahm man – noch eher vage – Informationen über die Neuerungen im islamischen Bereich auf. In der 2.H. des 11. Jhs wurden durch CONSTANTINUS AFRICANUS, der 39 Jahre lang den Orient bereist haben soll, vermutlich um 1060/70 erstmals griechische und arabische medizinische Autoren in das Lateinische übersetzt und zur Grundlage weiterer Diskussionen gemacht[1]. Die naturwissenschaftlich orientierte Arbeit wird fortgeführt und verschiedentlich beteiligen sich auch Schüler von Chartres am Übersetzungswerk – wie etwa HERMANNUS DALMATUS (auch als Hermann von Kärnten bezeichnet) – und es erfolgt auch eine inhaltliche Ausweitung über die Disziplinen der *septem artes* im allgemeinen hinaus, vor allem auf Astronomie und natürlich auch auf die Grammatik im Sinne der Sprachlogik bzw. der Sprachphilosophie – immer noch eng vermengt selbstverständlich mit theologischen Arbeiten. Diese Entwicklung führt dazu, dass einige Autoren sich mit dem Verhältnis zwischen Theologie und Philosophie zu befassen beginnen, ja dass man überhaupt das Ganze „philosophischen" Strebens, d.h. „wissenschaftlicher" Arbeit als einen von der Theologie differenzierten

[1] CONSTANTINUS AFRICANUS war am Ende seines Lebens Laienbruder in Monte Cassino, wo er 1087 verstorben ist. Ursprünglich dürfte er ein Muslim gewesen sein, der als Kräuterhändler und in Medizin und Pharmazie Erfahrener den Orient bereiste und um 1075 geschäftlich auch nach Salerno gekommen sein soll, wo er sich über den niedrigen Stand der Kenntnisse, insbesondere der Literatur wunderte, sodass er mit dem Übersetzen einschlägiger Werke begann und damit die Rezipierung der griechisch-arabischen Medizin im lateinischen Westen einleitete. Mit ihm setzt ein, was als „Hochsalerno" bezeichnet wird; in Monte Cassino verlieh man ihm den Ehrentitel „*orientis et occidentis magister*" (Bautz).

Bereich zu verstehen beginnt, wie das später in dem Versuch einer Art Wissenschaftslehre bei Magister CLARENBALDUS (fl. 1150-1170 in Arras) erkennbar wird, wenn er zwischen einer *speculatio theologica*, einer *speculatio mathematica* und einer *speculatio physica*, bestehend aus *terrestris, sublimis* und *caelestis* differenziert. HUGO VON ST.VICTOR (1096-1141) hat in seinem „Didascalion" das weiter ausgebaut und Wissenschaft – samt den *artes mechanicae* – als ein dem Menschen von Gott als gegen die durch die Erbsünde verursachten Schwächen an die Hand gegebenes Hilfsmittel verstanden und ihr damit einen legitimen Platz zugewiesen[2].

Wenn man sich im Inhaltlichen auch in den einfachsten Anfangsgründen bewegte, so wurden doch in Hinblick auf den naturwissenschaftlichen Bereich mehr und mehr Astronomie, Mathematik, „Physik", auch Vorstellungen hinsichtlich der Psychologie und der Physiologie rezipiert und diskutiert. Nach wie vor band die Theologie den Großteil der Kapazität.

Hatte sich im muslimischen Bereich mittlerweile längst eine deutlichere Differenzierung der Bereiche entwickelt, so fehlte dies im Abendland zu jener Zeit noch weitestgehend. Erst langsam werden sich Astronomie und Mathematik und dann andere Bereiche als „Disziplinen" von einer immer noch von der Theologie bestimmten Sicht der Erscheinungen loslösen. Insgesamt aber vollzieht sich unter der Einwirkung des in der 2.H. des 12. Jhs einsetzenden Übersetzungswerkes und der dadurch ausgelösten stufenweisen Rezipierung vor allem (aber nicht nur) der Werke des ARISTOTELES im 13. Jh dann sehr rasch eine Ausweitung des Wahrnehmungs- und Betrachtungsfeldes auch in Hinblick auf die Natur.

Die inhaltliche Erarbeitung war freilich mühsam. Sie ging anfangs von den wenigen durchgehend überlieferten Texten – wie der Geometrie des BOETHIUS, von ALKUIN und den in Umlauf befindlichen einfachen Aufgabensammlungen – aus. Später bestimmten die aristotelischen Schriften die im 13. Jh noch weitgehend mit der Theologie verknüpfte Erörterung der Phänomene. Früh sind allerdings berühmte alte und zentrale Fragen – wie etwa die Quadratur des Kreises und damit auch die Frage nach π – wieder aufgenommen worden – so bereits durch FRANCO VON LÜTTICH, einen Schüler FULBERTS.

1.1.1 Führende Persönlichkeiten mit naturwissenschaftlichen Interessen

Alexander Neckham (1157–1217)
ALEXANDER NECKHAM gab mit seinen zwei Büchern „De naturis rerum" eine Art Naturgeschichte und hatte offenbar auch weitergehende Interessen – er berichtet als erster uns bekannter Autor in Europa über den – offenbar bereits recht allgemein üblichen – Gebrauch des Kompass.

Alfred Sareshel (12. Jh)
ALFRED SARESHEL, der auch als Sarashel und Alfredus Anglicus bekannt ist. Über ihn ist sehr wenig bekannt: er lebte zumeist in Spanien, übersetzte "De vegetabilibus" = "De plantis" des ARISTOTELES (eine Arbeit, die damals dem NIKOLAUS DAMASCENUS[3] zugeschrieben wurde) sowie den alchemistischen Teil von IBN SINAS „Mineralia" bzw. „Liber de congelatis" und verfasste Kommentare zur Meteorologie des ARISTOTELES, die ROGER BACON benützte. ALFRED SARESHEL muss über eine sehr gute Kenntnis des ARISTOTELES verfügt haben. Von ihm selbst stammt auch eine Arbeit „De motu cordis", die auf griechischen, arabischen und salernitanischen Vorstellungen aufbaut – „*Cor domicilium est vitae ... cor igitur animae domicilium est*".

Michael Scotus (1175 – 1235)
MICHAEL SCOTUS, der sich zuerst in Toledo aufgehalten hat, 1224-1227 am päpstlichen Hof war und von 1227 bis zu seinem Tod 1235 Hofastrologe FRIEDRICHS II. gewesen ist. Aus seiner Zeit bei FRIEDRICH II. kann man mit Sicherheit nur die Übersetzung einer „Abbreviatio de animalibus" des AVICENNA nachweisen, die er FRIEDRICH II. („*domine mundi*") gewidmet hat, sie war 1232 fertiggestellt. MICHAEL SCOTUS hat aber, wohl nach 1228, auch die aristotelische Schrift „De caelo et mundo" samt dem AVERROES-Kommentar darüber aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt, wobei er sich der Unterstützung eines Juden bediente, der des Arabischen besser mächtig war als er. Diese Übersetzung ist

[2] Diese Vorstellung ist auch bei anderen Autoren, insbesondere bei THOMAS VON AQUIN (?) zu finden.

[3] 64 v. - 10. n. eigentlich Historiker, verfasste Weltgeschichte in 144 Büchern und eine Biographie des AUGUSTUS, war ein Vertrauter des HERODES.

in mehreren Exemplaren an italienische Universitäten ausgeschickt worden und auch nach Paris. MICHAEL SCOTUS war so gewissermaßen der Wegbereiter des AVERROES in der Scholastik. AVERROES (1126-1198!) wird damit im christlichen Bereich verbreitet, ehe er im islamischen wirklich bekannt wird, er wird ab 1240 von ALBERTUS MAGNUS in größerem Stil zitiert. Dazu ist außerdem wissenswert, dass sich einer Legende zufolge die Söhne des AVERROES am Hofe FRIEDRICHS II. aufgehalten haben sollen. Unsicher ist, ob MICHAEL SCOTUS des MAIMONIDES Hauptwerk „Dux perplexorum" übersetzt hat, das in der 1. H. des 13. Jhs im Christentum rezipiert wurde und auf THOMAS VON AQUIN und MEISTER ECKHART großen Einfluss ausgeübt hat.

Unter dem Einfluss des sich infolge des Übersetzungswerkes entwickelnden Aristotelismus bildet sich eine erste Schule der Naturphilosophie, d.h. der „Naturwissenschaften" im 13. Jh heraus. Drei Personen kommt in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung zu: ROBERTUS GROSSETESTE, seinem Schüler ROGER BACON und ALBERTUS MAGNUS.

Robertus Grosseteste (1175–1253)
ROBERTUS GROSSETESTE, auch Capito, Greathead, war Franziskaner; ausgebildet in Paris, dann Magister regens und Kanzler der Universität Oxford, wo er das dortige Franziskanerstudium begründete, später Bischof von Lincoln. War einer der bedeutendsten Wissenschaftler des ausgehenden Hochmittelalters, ja des Mittelalters überhaupt und Lehrer des ROGER BACON. Von ihm stammt eine Fülle naturwissenschaftlich-astronomischer wie philosophischer Schriften, und er gilt als einer der "Erfinder" des Experiments, der selbst mit Spiegeln und Linsen experimentierte. Unter seinen zahlreichen, naturwissenschaftliche Themen behandelnden Schriften ist wohl am bekanntesten

– **De luce seu e inchoatione formarum** – eine Kosmologie, in der ROBERTUS GROSSETESTE das Licht als eine feine Substanz sieht, die als Träger von Kraft und Kraftwirkungen fungiert (dafür kommt bei ihm wie bei ROGER BACON der *species*-Begriff zur Anwendung); das Licht ist zugleich die erste körperliche Form, die in der *materia prima* geschaffen wurde. Er postuliert gleichsam eine Art „big bang": das Licht entstehe aus sich, schaffe aus einem Punkt eine Lichtkugel und gebe der an sich ausdehnungslosen Materie dreidimensionale Ausdehnung, womit auch der Raum geschaffen worden sei und schließlich 13 Sphären (9 himmlische und 4 für die Elemente) entstanden seien; alles sei damit aus Licht entstanden, durch das auch die Seele auf den Körper einwirke. In Zusammenhang mit diesen Vorstellungen formuliert ROBERTUS GROSSETESTE die Feststellung, dass die Naturphilosophie die Mathematik zur Voraussetzung habe.

ROBERTUS GROSSETESTE hat darüber hinaus zahlreiche philosophische Schriften verfasst und eine ganze Reihe bedeutendster Werke nach Frankreich gebracht: die Nikomachische Ethik des ARISTOTELES, die er 1241 erstmals samt diversen Kommentaren ins Lateinische übersetzte, weiters andere Schriften und Auszüge aus ARISTOTELES, so u.a. des DIONYSIOS AREOPAGITA und des JOHANNES VON DAMASKUS.

Roger Bacon (1214-1292?)
ROGER BACON, Doctor mirabilis, Franziskaner, war Schüler des MARSH in Oxford und mittelbar des ROBERTUS GROSSETESTE, 1236 nach Paris, später nach Italien, wieder Paris, 1251 nach Oxford zurück. Franziskaner-Zensur ab 1254/55, Papst Clemens IV fordert ihn 1266 auf, ihm heimlich seine Schriften zu senden, und ROGER BACON sendet ihm 1268 vier Bücher, ein astronomisches Instrument und vermutlich auch eine Landkarte, über die aber jegliche nähere Information fehlt; doch Clemens stirbt. Als es nach 1277 (Verurteilung des Averroismus durch Bischof Stephan Tempier) zu einer Verschärfung der Zensur kommt, wird ROGER BACON beschuldigt, verdächtige Neuerungen zu lehren, und wird bis 1292 in Ancona inhaftiert, ab 1292/93 gibt es keine Nachricht mehr über ihn, der zufolge er noch am Leben wäre.

ROGER BACON betrachtete die christliche Welt als nur einen kleinen Teil der besiedelten Gebiete der Erde, die mehrteils von Nichtchristen bewohnt sei; er ging den Gemeinsamkeiten der monotheistischen Religionen von Christentum, Judentum und Islam nach und vertrat die Ansicht, dass die (ihm selbstverständlich notwendige) Bekehrung im Sinne der Verbreitung des wahren Glaubens durch Argumente und Überzeugung, nicht gewaltsam erfolgen müsse, und wissenschaftliche Erkenntnis würde die Verteidigung des christlichen Glaubens fördern. ROGER BACON, der an der Bekehrung von

Nichtchristen interessiert war[4], war ein Anhänger des ARISTOTELES mit einer starken Beeinflussung durch den Neuplatonismus und ein Gegner des THOMAS VON AQUIN, wie er überhaupt ein streitlustiger Kritiker war, der den mittlerweile schon recht erstarrten scholastischen Betrieb ablehnte; er formuliert vier wesentliche Hindernisse für den Erkenntnisfortschritt: die Akzeptierung althergebrachter Autoritäten (die bereits ABAELARD in Frage gestellt hatte), die Beachtung von Gewohnheiten, die Abhängigkeit von Denkmoden (die wesentlich später postulierten *idola fori* des FRANCIS BACON) und die Überschätzung der Sinneswahrnehmungen. Die richtige Frage zu stellen, mache die halbe Wissenschaft aus – „*Prudens quaestio dimidium scientiae*“. ROGER BACON war aber kein Philosoph in dem engeren Sinne, dass er selbst eine Philosophie vertreten hätte[5]; er strebte nach Fakten, wollte die überlieferten Texte, insbesondere die Bibel, möglichst in ihrer Entstehungssprache lesen und verstehen und warf den Zeitgenossen mangelnde Sprachkenntnisse, überhaupt ungenügende Ausbildung vor, die er allgemein in mathematischer, wissenschaftlicher und sprachlicher Hinsicht verbessert sehen wollte; er forderte *experimenta* ein, was in seinem Sprachgebrauch eng mit *experientia*, d.h. damit mit Erfahrung vermittelndem Vorgehen, bedeutet, und war eben an praktischer Anwendung interessiert – beides allerdings eher theoretisch, er war aber selbst kein Experimentator, hat aber für seine Arbeiten beträchtlich private Mittel eingesetzt und aus der Lektüre der teils aus dem Arabischen teils aus dem Griechischen übersetzten Werke klassischer Autoren wie aus eigenen Studien ein außergewöhnlich breites Wissen angesammelt. Es muss aber dennoch als bedeutsam angesehen werden, dass er mit Nachdruck empirisches Vorgehen gefordert hat. Als Enzyklopädist forderte er die Pflege und das Studium des Wissens in seiner ganzen Breite und Einheitlichkeit. Trotz aller Fortschrittlichkeit war ROGER BACON doch noch dem mittelalterlichen Denken unter der Dominanz der Theologie verhaftet. Es ist von ihm eine Fülle von z.T. groß angelegten Schriften mit gewaltigen, letztlich nicht eingelösten Zielsetzungen überliefert.

ROGER BACON war in gewisser Hinsicht ein Visionär: in seiner Arbeit

– **Epistola de secretis operibus artis at naturae et de nullitate magiae** handelt er von Flugmaschinen, Kränen, von Wagen und Schiffen, die durch mechanische Maschinen angetrieben werden, und von Unterseebooten, von denen er annahm, dass sie im Altertum konstruiert worden seien und die herzustellen man wieder lernen müsse.

Desgleichen handelt er von der Verwendung des bereits bekannten Schwarzpulvers und war im Opus maius von der Umsegelbarkeit der kugelförmigen Erde überzeugt, was allerdings bereits im Altertum behauptet worden war und wofür er sich auf AL-FARGHANI stützte. ROGER BACON wurde auch als Verfasser des VOYNICH-Manuskripts in Erwägung gezogen[6].

Zentrales Erkenntnisinstrument war für ROGER BACON die Geometrie, ohne sie könne nichts in der Welt erkannt und korrekt gedeutet werden. Wie schon ROBERTUS GROSSETESTE erweist er physikalische Einsicht, obgleich deren „technische“ Bewältigung weniger beeindruckt. So ist die Optik sein wichtigstes Betätigungsfeld; er schließt sich hier an ROBERTUS GROSSETESTE, aber auch an EUKLID, PTOLEMAIOS, AL-KINDI und an AL-HAYTHAM an. ROGER BACON gibt acht Sätze zur Klassifizierung konvexer und konkaver Linsen an, beschreibt den Vergrößerungseffekt, geht aber ebenso wenig wie ROBERTUS GROSSETESTE auf die Möglichkeit der Kombinierung von Linsen ein. Dafür interpretiert er AL-HAYTHAMs Beschreibung des Auges in Zusammenhang mit anatomischen Angaben bei HUNAIN IBN ISHAQ und AVICENNA und gelangt zu den Gesetzen der Lichtbrechung und der Lichtspiegelung, die er als „*leges communes naturae*“ bezeichnet, wie er auch in anderem Zusammenhang von einer „*lex naturae universalis*“ schreibt, womit er einen bei LUKREZ bereits gebrauchten Begriff aufgreift. ROGER BACON verwirft unter Hinweis auf den Umstand, dass eine Klepsydra nicht funktioniere, solange der Wassertank oben geschlossen bleibe (womit keine Luft hinzutreten kann), die Vorstellung vom *horror vacui* – eine ähnliche Argumentation hat auch ADELARD VON BATH in seinen „Naturales quaestiones“ verwendet.

---

4 Seine Haltung gegenüber den Juden ist ausgesprochen positiv, auch jenen gegenüber die zur Zeit Jesu in Palästina lebten, hält die jüdische Kultur für älter als die Griechische, die von ihr beeinflusst sei.

5 Von seinen theologisch-philosophischen Schriften sei auch das „Compendium studii theologiae“ erwähnt, ein Werk, das wohl erst 1293 entstanden ist, nach seiner Freilassung aus der Haft in Ancona; darin bezieht er sich auch auf seine Haft.

6 [http://de.wikipedia.org/wiki/Voynich-Manuskript::Basisinformationen zum Voynich-Manuskript] - dabei handelt es sich um ein mysteriöses angeblich in Südosteuropa gefundenes Manuskript (mit zahlreichen Abbildungen), dessen Schrift bislang allen Entzifferungsversuchen (auch durch ausgewiesene Spezialisten) widerstanden hat.

Für wahre Erkenntnis in Hinblick auf die Natur bedarf es jedoch des Experiments – so beginnt ROGER BACON das 6. Buch des „Opus maius“, das er der *scientia experimentalis* widmet; denn ohne *experientia* könne nichts gründlich erkannt werden. Drei Aspekte zeichnen für ihn die *scientia experimentalis* aus: nur durch sie können die Ergebnisse der Deduktion (einschließlich der Mathematik) verifiziert werden (dafür führt er den Regenbogen an), könne Neues entdeckt werden, das deduktiv nicht erschließbar sei (diesbezüglich führt er die Eigenschaften des Magneten und der Heilpflanzen an) und schließlich könnten nur durch sie wunderbare Erfindungen gemacht werden wie etwa ewig brennende Lampen, explosives Pulver etc. In dieser Auffassung von der scientia experimentalis war ROGER BACON offensichtlich beeinflusst von der pseudoaristotelischen Schrift „Secretum secretorum“, die er in der Zeit zwischen 1243 und 1257 kommentiert herausgegeben hatte.

Den von ihm sehr strapazierten Begriff Mathematik ([wissg-079-704::Zur Bedeutung der Mathematik im Opus Maius]) hat ROGER BACON in einem sehr weiten Sinne verwendet. Die Mathematik nimmt für ihn – neben der Sprache ([wissg-079-705::Zur Bedeutung der Sprache im Opus Maius]) – eine fundamentale Position ein, wird von ihm als die erste aller Wissenschaften, als *porta et clavis scientiae* und als das Alphabet der Philosophie bezeichnet. Sie rückt bei ihm in die Nähe der Magie – mit ihrer Hilfe sollten alle Probleme der Naturphilosophie gelöst werden. Allerdings bleiben diese Ankündigungen und Erwartungen uneingelöst. Ein zweites ihm besonders wesentliches Gebiet war das der Sprache wie der Sprachbeherrschung; Sprache rangiert in seiner Wissenschaftssystematik (s.u.) noch vor der Mathematik.

ROGER BACON hat sich – wie fast alle an Astronomie interessierten Autoren bis in das 17. Jh hinein – auch mit Astrologie befasst und vertrat diesbezüglich die Auffassung, dass sie Tendenzen künftiger Ereignisse erkennen lassen könne, nicht aber den menschlichen Willen einschränke. Mit technischen Aspekten der Astronomie wie der Astrologie hat er sich nicht abgegeben. Seine Arbeit zu Kalenderfragen

Computus naturalium, auch **Communia naturalium**, ist allerdings häufig zitiert worden und soll auch KOPERNIKUS beeinflusst haben – ROGER BACONs Kalender wäre in 129 Jahren nur um einen Tag abgewichen.

ROGER BACONs Hauptwerke sind

– **Opus Majus**, ein großes, 840 Seiten umfassendes [wissg-07B-843::Kompendium], das in sieben Teile gegliedert ist:
  1 handelt von den vier Ursachen des Irrtums und der Unwissenheit: wertlose Autoritäten, Gewohnheit, Vorurteil und vorgetäuschtes Wissen
  2 handelt vom Verhältnis der Philosophie zur Theologie: Philosophie in einem engeren Sinne und Naturphilosophie führen über die Kenntnis der Natur zum Wissen in Bezug auf den Schöpfer; die oberste Stellung in der Wissenshierarchie kommt der Theologie zu; eingeschoben ist eine Geschichte der Philosophie
  3 handelt von der Nützlichkeit der Beschäftigung mit der Sprache und bedauert die Mangelhaftigkeit der Übersetzungen aus dem Griechischen und dem Hebräischen,
  4 handelt von der Mathematik, die als *porta et clavis scientiae* für jegliche Erkenntnis bis hin zur Kirchenreform unentbehrlich und das „Alphabet der Philosophie“ sei,
  5 handelt von der Optik (und ist unter dem Titel „Perspectiva“ häufig auch separat überliefert worden), es enthält dieser Abschnitt eine wesentliche weiterführende Behandlung des Themas,
  6 handelt von der Bedeutung der *experienta*, ohne die kein Wissen erlangbar sei, und damit des Experiments;
  7 handelt von der Ethik als Ziel jeglichen menschlichen Wissens.

  das Opus Majus enthält auch mathematische und naturwissenschaftliche Abschnitte, insbesondere der Astronomie, der Optik und der Alchemie. ROGER BACON forderte auch die Organisation eines großen enzyklopädischen Unternehmens mit einer Vielzahl von Mitarbeitern unter kirchlicher Aufsicht. ROGER BACON kannte die Arbeiten AL-HAYTHAMs und baute auf ihnen auf – er beschreibt zutreffend Lichtbrechung und Spiegelung, entwirft die Vision eines Fernrohrs, befasst sich mit der Frage des Regenbogens (er gibt den sehr guten Wert 42° als maximale Höhe für den Regenbogen an); auch wird ihm in diesem Zusammenhang die Erfindung der Brille zugeschrieben, da er im Anschluss an ROBERTUS GROSSETESTE, der den Vergrößerungseffekt bereits erkannt hatte, mit Linsen experimentiert hat. Bacon hat auch versucht, mathematische Berechnungen in die Optik einzuführen,

was im Abendland völlig neu war. Die Mathematik ist für ihn Tor und Schlüssel zur Wissenschaft: „*Et harum scientiarum porta et clavis est mathematica*“

- **Opus minus**, es ist dies eine Ergänzung und Korrektur zum Opus maius
- **Opus tertium**, wie das Opus minus eine Ergänzung und Korrektur zum Opus maius, speziell hinsichtlich der Beziehungen zwischen den einzelnen Wissenschaftsbereichen – Physik (Vakuum, Bewegung, Raum), Mathematik, Astronomie und Alchemie (Einheit der Wissenschaft)

ROGER BACON hat diese drei Opera innerhalb kurzer Zeit 1266/67 für seinen Gönner, den Kardinal Guy LE GROS DE FOULQUES geschrieben, der 1265 zum Papst gewählt wurde (KLEMENS IV.), und ihnen noch kleinere Arbeiten beigefügt, darunter vermutlich eine Landkarte und die Arbeit

- **De scientia perspectiva**, seine **Optik**, die wesentlich auf AL-HAYTHAM beruht; ROGER BACON hat mit Spiegeln und Linsen experimentiert; Licht ist eine Fortpflanzung von Wirkung (*multiplicatio specierum*), im Gegensatz zu ROBERTUS GROSSETESTE behauptete er, dass der Durchgang von Licht durch ein Medium sich nicht augenblicklich vollziehen könne, dass also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts begrenzt sei.

Eine Reaktion des neuen Papstes auf diese Werke ist nicht bekannt, zumal KLEMENS IV. bereits 1268 verstarb.

Vermutlich in dieser Zeit hat ROGER BACON auch mehrere kleinere Schriften verfasst[7]; die zeitlich letzte Schrift[8], von der wir wissen, hat er 1292 geschrieben. Zu erwähnen sind weiters (als teilweise mit Inhalten der drei Opera sich überschneidende Arbeiten) die Arbeiten

- **Speculum astronomiae**,
- **Quaestiones naturales mathematice, astronomice** etc.: Anwendung der Mathematik in der Physik, in divinis, Judicia astronomiae, Kalenderkorrektur, Geographie und Astrologie, teilweise Überschneidung mit Opus minus und Opus tertium.
- **Astronomisch-astrologische Schriften**: ROGER BACON konnte sich nicht zwischen PTOLEMAIOS und AL-BITRIJI entscheiden, beide haben für ihn etwas für sich; ROGER BACON ist fest von der Astrologie überzeugt, die für ihn in zwei Teile zerfällt – einen legitimen und einen verbotenen, die bloße Superstition.
- **Kalenderreform**, wollte Bemühungen des ROBERTUS GROSSETESTE fortsetzen, sehr gute Abhandlung.
- **Mechanik**: hält sich an JORDANUS DE NEMORE und ROBERTUS GROSSETESTE, hält aber ebenfalls das Vakuum für unmöglich, beschäftigt sich mit der Frage der Wirkung über Distanz (Astrologie): **De multiplicatione specierum** = Übertragung von Actio, Ausbreitung von Kausalität, nicht ganz klar.
- **Alchemie**: sehr interessiert, viele ihm zugeschriebene Schriften sind aber nicht echt.

ROGER BACON hat auch eine sehr fortschrittliche und richtungsweise Vorstellung von der Struktur der Erkenntnis erarbeitet, wenn er feststellte, dass es fünf Wissenschaften gebe, ohne die weder Gott noch das Menschliche erkannt werden könnten – womit ja ausgesagt ist, dass auch das Göttliche nicht allein aus der Offenbarung erkannt werden könne, was eine enorme Aufwertung der weltlichen Wissenschaften bedeutete. Seine Systematik besteht aus:

1 Grammatik und Logik „*Sprache ist der Kanal, durch den die Gedanken der Menschen in uns eindringen*“
2 Mathematik – rein und angewandt
3 Physik – sie behandelt die
   – Allgem. Prinzipien der Naturphilosophie wie Fortpflanzung der Kraft, "Strahlungsenergie" - Licht, Schall, Duft etc.
   – Perspektive = Optik - rein und angewandt
   – Astronomie und Astrologie - rein und angewandt
   – Wissenschaft von den Elementen (Wissenschaft von der Schwere)
   – Alchemie - Chemie Verbindung von Elementen, Flüssigkeiten, Gase, Körper, unbelebte Materie)

---

7 Nämlich **Communia naturalium** und **Communia mathematicae**, in denen er eine Fülle von Theorien entwickelte, dabei aber meist die skizzierten Ansätze nicht einlöst; darauf folgte vermutlich 1271/72 das **Compendium studii philosophiae**, das sich im ersten Teil mit den Sprachen befasste.

8 Es dies das **Compendium studii theologii.**

– Agrikultur = Wiss. von Tieren und Pflanzen
– Medizin = Wiss. vom Menschen
– Experimentelle Wissenschaften (Magnetismus, Regenbogen, Licht und Schatten, Gifte, Stein der Weisen etc.)

4 Metaphysik und Moralphilosophie
– Metaphysik
– Moralphilosophie (Gott, Mitmenschen, Gesetze, Ehe, Staatsdienst, Verwaltung, Krieg)
– Verhalten gegenüber sich selbst (Wohltäter, Selbstbeobachtung, Erziehung)
– Christlicher Glaube
– Priesteramt
– Rechtssprechung

5 Theologie

ROGER BACONs Klassifikation zeugt von den Versuchen spätmittelalterlicher Autoren, die Tradition zu überwinden und zu einer logisch begründeten Systematik zu gelangen. Dabei spielt die von ARISTOTELES ausgehende und über den Islam tradierte Scheidung zwischen theoretischen und praktischen Zweigen der einzelnen Disziplinen eine große Rolle. Ein anderes bemerkenswertes Element ist die Einbeziehung der technisch-handwerklichen Bereiche in die Systematik der Philosophie.

ROGER BACON hob in besonderem Maße das Element der *experientia* hervor und forderte eine *scienta experimentalis*, wobei dieser Begriff nicht als „experimentelle Wissenschaft“ nach modernem Verständnis aufzufassen ist, sondern vielmehr bedeutet, dass experientia im Sinne induktiven Vorgehens eingebracht werden müsse – wie in vielen anderen Aspekten auch, gleicht ROGER BACON darin in frappierender Weise seinem späteren Namensvetter FRANCIS BACON. Experimentiert in einem einigermaßen modernen Vorstellungen entsprechendem Sinne hat ROGER BACON wohl nur in der Optik. Wichtig ist, dass er bereit war, sich gegen anerkannte Theorien zu stellen und seine eigene Unkenntnis einzugestehen[9].

Um ROGER BACON bildete sich eine Reihe von Legenden, auch wegen der Experimente und (in Zusammenhang mit diesen) der magischen Fähigkeiten, die man ihm zuschrieb[10]. Auch wurde er zeitweise als Märtyrer der Wissenschaft stilisiert; er war aber kein revolutionärer Freidenker, sondern durchaus sehr orthodox und geradezu fundamentalistisch – die Theologie war auch für ihn die Krönung allen Wissens. Dennoch aber war er auch ein Vorläufer der neuen Wissenschaft.

Albertus Magnus (1193/1206/1207-1280)

ALBERTUS MAGNUS, Doctor universalis, ALBRECHT VON BOLLSTÄDT, Dominikaner, studierte in Padua, lehrte an diversen deutschen Dominikanerschulen, 1245-1248 in Paris, bis 1254 in Köln, ab 1254 Ordensprovinzial für Deutschland, Bischof von Regensburg etc., blieb aber in Köln, daher auch Coloniensis. ALBERTUS MAGNUS war ein tiefer Denker, Wissenschaftler im eigentlichen Sinne, konnte aber weder Griechisch noch Arabisch, es war aber das meiste schon in Übersetzungen zugänglich, er betrieb vor allem das Studium des ARISTOTELES, schrieb Kommentare zu fast allen aristotelischen Werken, die er alle mit neuen Gedanken, Erweiterungen durchsetzte – ist der erste, der den gesamten ARISTOTELES unter Berücksichtigung der arabischen Kommentatoren systematisch geordnet im Sinne des kirchlichen Dogmas reproduziert (so wie MAIMONIDES den ARISTOTELES für den jüdischen Bereich rezipiert hatte). Er war einer der wirksamsten Verbreiter der griechisch-arabischen Literatur und galt als hervorragender Lehrer – u.a. waren THOMAS VON AQUIN und THOMAS VON CANTIMPRE seine Schüler. Er übte enormen Einfluss aus, aber nur für eher kurze Zeit, da seine Werke zu speziell waren. Schuf keine in

[9] Es ist eine **Summa philosophiae = Tractatus difficilium ad scientiam veram universaliter spectantium** überliefert, die mitunter ROBERTUS GROSSETESTE, dann wieder ROGER BACON zugeschrieben worden ist. Es handelt sich dabei um eine Enzyklopädie der Philosophie in 19 Abhandlungen: es handelt sich um eine Philosophiegeschichte von Chaldäa an, 2 Wahrheit, 3 Wissenschaft, 4 Materie, 5 Form, 6 Virtus = *est autem virtus vigor alicuius actionis vel passionis causalis*, 7 erste Ursache, 8 Universum, es gibt eines, es ist nicht ewig, 9 Körper, Raum, Vakuum, 10 Verstand, 11 rationale Seele, 12 sensitive Seele, 13 vegetative Seele, 14 Licht, 15 himmlische Sphären, 16 Natur allgemein und speziell, 17 vier Elemente, ihre Qualitäten und Kombinationen, 18 Meteorologie, Gezeiten, Salzgehalt des Meeres, 19 Mineralien, Edelsteine, sieben Metalle, Schwefel und Quecksilber.

[10] Noch im 20. Jh ist er mit dem nicht entzifferten und vermutlich (als Nonsens-Text) wohl auch nicht entzifferbaren VOYNICH-Manuskript in Verbindung gebracht worden, wobei man ihn Teleskop und Mikroskop benützen, Zellkern und Spermatozoen etc. entdecken ließ.

sich geschlossene Lehre, war origineller Eklektiker, der sich bei den besten Autoren bediente (MAIMONIDES, AVICENNA etc.), oft Vermengung der Lehre des ARISTOTELES mit anderen Elementen.

ALBERTUS MAGNUS plante, ebenso viele Bücher und diese mit den selben Titeln wie ARISTOTELES zu schreiben und das noch hinzuzufügen, was ARISTOTELES nicht mehr zu vollenden vermocht habe; nach dem Vorbild AVICENNAs plante er eine gewaltige Summa, als deren Teile seine philosophischen Schriften zu sehen sind, die in drei Gruppen zusammengefasst werden können und eine gewaltige ARISTOTELES-Paraphrase bilden:

1 „Philosophia rationalis“ oder „Logica“
De praedicabilibus = Super Prophyrium
De praedicamentis
De sex principiis Gilberti Porretani
De divisionibus
Perihermenias
Analytica priora
De hypotheicis syllogismis
Analytica posteriora
Topica
Elenchi

2 “Philosophia realis”

Physica mit 22 Titeln: Astronomisches, Chemie, Meteorologie und Klimatologie, originell sind jene zur Geologie und Mineralogie, die im letzteren Teil auf eigenen Beobachtungen basieren, z.B. auch in Bergwerken und Laboratorien.

Botanik und Zoologie – sind ebenfalls wichtig, beruhen zwar auf anderen Autoren (Zoologie z.T. auf MICHAEL SCOTUS), sind aber eigenständiger und mit eigenen Beobachtungen durchsetzt resp. erweitert.

- Zoologie in 26 Bücher gegliedert, deren erste 19 praktisch ARISTOTELES-Paraphrase sind, Rest ist neu: Generelles, über die Körper der Tiere, Struktur, Kraft, perfekte und inperfekte Tiere – eine Art vergleichende Tierpsychologie-, Beschreibung der Tiere alphabetisch nach ihrem lateinischen Namen, der Mensch und die schreitenden Säugetiere (also außer Fledermaus, Wal und Seehunde), fliegende Tiere (Vögel und Fledermäuse), schwimmende Tiere (Fische, Wale, Seehunde, Kopffüßer, Schalentiere, Wasserschnecken etc.), Schlangen, Eidechsen und Molche, dann Würmer, Insekten, Frösche, Landschnecken, viele der Tiere werden hier zum ersten Mal beschrieben.

  ALBERTUS MAGNUS war ein guter Beobachter, aber kein großer Theoretiker, Theorien übernimmt er sklavisch von ARISTOTELES und AVICENNA. Zitiert nur wenige Autoren. Gibt genaue Beschreibung der Jagd auf Wal und Walross, behandelt weitläufig Pferde- und Falkenkrankheiten, verwechselt aber doch Wale mit Fischen und Fledermäuse mit Vögeln, verwirft aber andererseits alte Fabeln wie die vom Pelikan, der seine Jungen mit dem eigenen Blut füttert, Greifsage, Selbstkastrierung des Bibers, Unverbrennbarkeit des Salamanders, Phönix, all den Unsinn aus dem Physiologus. Beachtet Fossilien. So ist seine Zoologie mehr als eine bloße ARISTOTELES-Renaissance.
- Medizinische Themen
  - Anatomie –
  - De secretis,
  - De formatio fetu,
  - Secreta mulierum.

  Mathematica – lediglich das „Speculum astronomiae“ gedruckt
  Metaphysica (der Gipfel von Alberts Philosophie)

Metaphysica
De causis et processu universitatis

3 „Philosophia moralis“.

ROGER BACON hat die Ansicht vertreten, dass erst ALBERTUS MAGNUS die gesamte Philosophie zu den Lateinern gebracht habe – was eine tatsächlich zutreffende Behauptung ist. Er ist "*der erste hochrangige*

Bannerträger des Aristotelismus im 13. Jh"[11]. ALBERTUS MAGNUS griff dabei auf AL-FARABI und auf den diesem sich anschließenden AVICENNA zurück. AVERROES erwähnt er zwar häufig, oft aber nur, um ihn zu bekämpfen. Weitere Vorbilder sind ihm IBN GABIROL und MAIMONIDES, aus dessen „Moreh Nebuchim" er ganze Kapitel übernommen hat. ALBERTUS MAGNUS hat neben dieser Dominanz des Aristotelismus aber auch mit dem Platonismus, dem Neuplatonismus vor allem sich beschäftigt und naturgemäß auch die Anschauungen des AUGUSTINUS gekannt.

Er akzeptiert die Erschaffung der Welt und damit den rationalen Beweis für ihre zeitliche Dauer – Geschaffensein und Ewigsein schließen einander aus, damit bekämpft er die aristotelische Ansicht von der Ewigkeit (d.h. dem Nicht von Gott Geschaffensein) der Welt.

ALBERTUS MAGNUS war aber zugleich einer der erfolgreichsten Naturwissenschaftler des christlichen Mittelalters mit einem starken Drang zu empirischer Forschung und einer hervorragenden Beobachtungsgabe. Gleichwohl beruft er sich doch auch in Fällen, wo er leicht eine Überprüfung in der Realität vornehmen hätte können, auf die Autorität des ARISTOTELES.

Wie andere mittelalterliche Philosophen auch, sucht ALBERTUS MAGNUS zwar Vernunftgründe für das zu Glaubende, er schließt aber die spezifisch biblischen und christlichen Offenbarungslehren von der Erkennbarkeit durch das Licht der Vernunft aus, denn die menschliche Seele vermöge nur das zu wissen, was sie im Prinzip in sich trage. In Glaubenssachen wolle er mehr dem AUGUSTINUS vertrauen, in naturwissenschaftlichen dem Aristoteles.

Die nachfolgenden Deutschen hängen weitgehend von ALBERTUS MAGNUS ab, es bildet sich ein Hang zum Mystizismus aus (MEISTER ECKHART u.a.).

William von Ockham (1285 – 1349)

Die wesentliche theoretische Grundlegung der Naturwissenschaften im Sinne des *philosophia naturalis* hat Wilhelm von OCKHAM in der Einleitung zu seinem Kommentar zur Physik des ARISTOTELES geleistet. Im Unterschied zu den anderen, auch zu THOMAS VON AQUIN, war er nicht an historischen Aspekten interessiert, sondern nur an der Logik selbst; er klärt die Terminologie und stellt fest, dass die Logik nicht mit Gedanken und Ideen operiere, sondern nur mit Termini. Er spricht klar und dezidiert den Universalien jede Realität ab, sie hätten nur eine formale Existenz. Mit der als „*Ockham's razor*" berühmt gewordenen, allerdings ähnlich auch schon früher in der Scholastik bei ROBERTUS GROSSETESTE und DUNS SCOTUS zu findenden, Formulierung: "*Pluritas non est ponenda sine necessitate*" bzw. "*nunquam ponenda est pluralitas sine necessitate*"[12] hat er eine allgemeine Methodenvorschrift in der Wissenschaft aufgestellt; es seien auch nur solche Begriffe und Entitäten zuzulassen, die der *ratio naturalis* evident sind – damit werden alle scholastischen Universalien ausgeschieden. OCKHAM befasste sich in seinem bereits erwähnten Kommentar zur Physik des ARISTOTELES eingehend mit der Frage, was unter Wissen zu verstehen sei, was seine Objekte sein können, und schließlich, was unter Naturwissenschaft zu verstehen und was von ihr zu erhoffen sei. (). „*Zuerst soll untersucht werden, was Wissen im allgemeinen ist; zweitens sollen einige Unterscheidungen des Namens »Wissen« getroffen werden; drittens sind aus dem Gesagten einige Schlüsse zu ziehen und viertens soll dann die Naturwissenschaft im besonderen untersucht werden. Zum ersten Punkt ist zu sagen, daß das Wissen entweder eine subjektiv in der Seele existierende Qualität oder eine Ansammlung einiger derartiger, die Seele bestimmender Qualitäten ist. Ich spreche nur vom Wissen des Menschen* […] *Was den zweiten Punkt betrifft, muß man wissen, dass »Wissen« (scientia) in verschiedenen Bedeutungen gebraucht wird; es gibt mannigfaltige, einander nicht untergeordnete Unterscheidungen des Wissens.* […] *Die Frage, welches das Subjekt der Naturphilosophie sei, gleicht der Frage, wer der König der Welt sei. So wie es keinen König der Welt, sondern nur Könige einzelner Reiche gibt, ebenso verhält es sich mit den verschiedenen Subjekten der verschiedenen Teile des Wissens. Das Wissen – wenn man darunter eine Ansammlung versteht – hat nicht eher ein (einziges) Subjekt als die Welt von einem König regiert wird oder als es in einem Reich nur einen Graf gibt.* […] *Viertens muß nun die Naturwissenschaft im Besonderen untersucht werden. Und zwar wollen wir zuerst sehen, wovon sie handelt, inwiefern sie sich von den andern Wissenschaften unterscheidet, zu welchem Teil der Philosophie sie gehört* […] *Zum ersten (Punkt) ist zu sagen, daß die Naturphilosophie von den sinnlichen Substanzen handelt, und zwar in erster Linie von den aus Stoff und*

[11] So Bernhard Geyer in Ueberweg.

[12] Die häufig zitierte Fassung "*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*" ist bei OCKHAM nicht belegt. – Später hat MACH ein ähnliches ökonomisches Prinzip entwickelt.

Form zusammengesetzten [und] *in zweiter Linie von gewissen abgetrennten Substanzen.* [… Weiters] *ist zu sagen, daß diese Wissenschaft zum größeren Teil theoretisch ist, denn jede Wissenschaft, die nicht von menschlichen Werken handelt, ist theoretisch. Aber diese Wissenschaft ist von dieser Art, wie es klar ersichtlich ist. Also ist ihre Erkenntnis theoretisch. Wenn es indessen einen gewissen Teil der Naturphilosophie gibt, der von menschlichen Werken handelt, dessen Erkenntnis diese Werke leiten kann, so ist dieser Teil praktisch und nicht theoretisch.*“ OCKHAM differenziert klar zwischen den natürlichen Objekten und dem Denken des betrachtenden Menschen über diese.

1.1.2 Bedeutende allgemeine Themen der naturphilosophischen Diskussion

Der Begriff des Unendlichen

Die Frage nach der Unendlichkeit in Zeit und Raum war ein seit der Antike diskutiertes Thema. ARISTOTELES: „*Es ergibt sich viel Unmögliches, mag man nun annehmen, dass das Unendliche nicht existiere oder dass es existiere*". Er definiert in der Physik (Buch III, 6 = 207a): "*es ergibt sich so, dass unbegrenzt das Gegenteil von dem bedeutet, was man dafür erklärt: Nicht, was nichts außerhalb seiner hat, sondern wozu es immer ein Äußeres gibt, das ist unbegrenzt*“[13]. Die klassischen Argumente gegen das Unendliche waren: es könne niemals abgeschlossen sein, denn stets komme ein neuer Tag hinzu, es könne nicht in endlicher Zeit durchlaufen werden und daher nur potentiell, niemals aber aktual existieren. ARISTOTELES akzeptiert das Unendliche als potentiell, nicht aber aktual vorhanden. PHILOPONOS argumentiert, ihre Unendlichkeit sei unmöglich, weil Unendliches nicht größer werden kann, täglich kommt aber ein neuer Tag hinzu, wenn die Zahl der Tage unendlich sei, kann sie aber nicht vergrößert werden. Diese Überlegung wird verschiedentlich ausgeweitet: bestünde die Welt seit Ewigkeit, also unendlicher Zeit, dann müsste die Zahl der bislang geborenen Menschen unendlich sein; das ist aber undenkbar, da täglich neue Menschen geboren werden und die Zahl weitersteigt. Unendliches könnte aber nicht ergänzt oder übertroffen werden. Analog dazu: die Tage oder die Umläufe der Sonne um die Erde wären unendlich, die des Mondes aber zwölf Mal so groß etc.

Auch bezüglich der räumlichen Endlichkeit ergeben sich enorme Schwierigkeiten, denn wenn man das Unendliche in zwei Teile teilte, dann wären diese entweder

- endlich, dann wäre auch das Ganze, ihre Summe, endlich, oder
- sie wären unendlich, dann wäre das Unendliche verdoppelt, also seinem Doppelten gleich, oder sie wären
- eines endlich und eines unendlich, dann würde das Unendliche durch Endliches vermehrt und größer als es selbst, was undenkbar sei – so z.B. bereits bei AL-KINDI.

Es sind in der Scholastik viele Überlegungen zu dieser Thematik angestellt worden: ROGER BACON hat sogar den "Beweis" zu erbringen gesucht, dass ein Teil größer sei als das Ganze. ROBERTUS GROSSETESTE verweist auf verschiedene Unendlichkeiten: die Reihe der geraden Zahlen sei unendlich, ebenso jene der ungeraden Zahlen; die Menge der ganzen Zahlen sei ebenfalls unendlich und größer als die unendliche Reihe der geraden Zahlen. Auf diese Weise gelangte man dazu, die Begriffe Ganzes, Teil, Unendlichkeit exakter zu definieren und entwickelte auch eine Methode, unendliche Mengen durch kriterienweise Zuordnung miteinander zu vergleichen. Es wird also von unterschiedlichen Kriterien gesprochen, die unendlich sein können und die in Bezug zueinander gesetzt werden: ALBERT VON SACHSEN diskutiert, ob "*ein Unendliches größer oder kleiner sein könne als ein anderes, wenn es mehrere Unendlich gäbe bzw. ob eines mit dem anderen vergleichbar sei*".

So kommt es gewissermaßen zu einer Relativierung eines absolut gefassten Unendlichkeitsbegriffes und man kann von "*unendlichen Größen*" sprechen. "*Eine Säule, die sich in eine Richtung ins Unendliche erstreckt, ist Teil einer Größe, die sich nach allen Seiten ins Unendliche erstreckt; und der Teil ist kleiner als das Ganze*" (letzteres nach EUKLID). ALBERT VON SACHSEN gelangt schließlich zum Ergebnis: "*impossibile est esse infinitum*" – es sei unmöglich, dass das Unendlich aktual existiere.

Im Weiteren führen diese Diskussionen dazu, dass das Unendliche schließlich – sowohl als unendlich Großes, als auch als unendlich Kleines, indivisibles – in den Bereich des mathematisch Handhabbaren einbezogen wird.

---

[13] BOLZANO definiert 1847/48 in seinen Paradoxien des Unendlichen: "... werde ich eine Vielheit, die so beschaffen ist, dass jede endliche Menge nur ein Teil von ihr darstellt, eine unendliche Vielheit nennen".

Das Problem des Kontinuums
Ein anderes wesentliches Problem war das des Kontinuums – das Problem des Teils und des Ganzen: Eine Strecke kann nicht aus Punkten bestehen. Bei Atomen besteht für ARISTOTELES als Punkten kein Unterschied zwischen Innerem und Grenze, wenn die Grenzen zweier Atome zusammenfallen, fallen die Atome zur Gänze in eines zusammen, ein Kontinuum kann also nicht aus Atomen bestehen. ARISTOTELES: Kein Kontinuum bestehe aus Atomen, vielmehr bestehe jedes Kontinuum aus unendlich vielen Kontinuen der gleichen Art. HENRY OF HARCLAY († 1317), Kanzler der Universität Oxford, hat sich von ARISTOTELES ausgehend mit dem Problem des Atoms befasst und eine atomistische Richtung ausgelöst, die erbitterte Gegnerschaft gefunden hat (s.w.u. BRADWARDINE). – Die Frage der Grenze gewinnt im Weiteren auch in der Mathematik an Gewicht.

Die Diskussion des Vakuums
Auch diese schon bei den alten Griechen diskutierte Frage, wurde neuerlich erörtert. ARISTOTELES hatte – ANAXAGORAS folgend – das Vakuum für unmöglich erklärt, während DEMOKRIT zwischen Voll und Leer unterschieden hatte, da er die Leere für die Bewegung der Atome benötigte. ARISTOTELES hatte sich in diesem Falle von der für ihn und seine Zeitgenossen beobachtbaren Realität leiten lassen – jede damals bekannte Bewegung wäre in einem leeren Raum nach damaliger Interpretation unmöglich gewesen. Denn in einem Vakuum sollte ja ein in Bewegung versetzter Körper niemals anhalten – und das war nicht beobachtbar. ARISTOTELES hat dies nach allen Regeln der Kunst in so hervorragender Weise diskutiert, dass nahezu 2000 Jahre später DESCARTES seine Idee aufgenommen und fortgeführt hat – noch im 20. Jh postulierten vor allem die englischen Physiker die Existenz eines alles erfüllenden "Äther", der *quinta essentia* des ARISTOTELES, die für die Erhaltung eines mechanistischen Weltbildes erforderlich war.

Nur einige wenige hielten Vakuum für möglich, so STRATON VON LAMPSAKOS † 270 v. Chr, der von großem Einfluss auf die Entwicklung der Mechanik war und der DEMOKRIT und ARISTOTELES zu vereinigen suchte, aber an der Frage scheiterte, wie denn Hitze und Licht durch das Vakuum wirken könnten. Ähnlich Johannes PHILOPONOS, 6. Jh, in seinen ARISTOTELES-Kommentaren.

Die Vakuum-Frage ist eng mit dem Atomismus verknüpft, der in der muslimischen Philosophie früh eingeführt worden ist, so durch AL-RAZI, aber auch bei MAIMONIDES, der ihn allerdings dann verwarf. Möglicherweise haben die Araber die Idee des Atomismus nicht nur von den Griechen, sondern auch aus dem Buddhismus bezogen.

Im Westen hat HUGO VON ST.VICTOR die Idee des Vakuums vertreten; er ist damit aber nicht durchgedrungen. WALTER BURLEY 1275-1345, vom Merton College in Oxford, vertrat ebenfalls die Idee des Vakuums und auch die Meinung, dass das Vakuum und die Pluralität von Universen nicht mit der Allmacht Gottes unvereinbar seien – denn es gebe keine Grenze für die Allmacht Gottes! Die Vakuum-Frage war insoferne mit der des Universums – ob es ein Universum oder mehrere Universen gebe – verknüpft worden, indem die Theologen argumentierten: es gibt nur einen Gott und daher nur ein Universum. Nur wenn es Vakuum gäbe, könnte dahinter ein weiteres Universum liegen[14]. Über diese Fragen ist die Vorstellung vom Vakuum nahezu in den Geruch der Häresie geraten, weil ihre Anhänger an eine Mehrzahl von Universen und damit indirekt auch an eine Mehrzahl von Göttern glauben sollten.

Das Substanzproblem
Ein Problem, das in der Spätscholastik, an der Wende zur Neuzeit, diskutiert wird, ist die Frage nach dem Wesen der materiellen Substanz[15]. Nach klassischen Auffassungen sollte sie einerseits – metaphysisch betrachtet – ein *compositum* aus Materie und Form und andererseits – naturphilosophisch gesehen – ein *mixtum* der vier Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer sein. Diese beiden Standpunkte blieben jedoch unvereinbar. Den Lösungsansätzen bei AVICENNA (die weniger beachtet worden sind) und AVERROES (die im Wege der Averroisten, vor allem JANDUNs große Bedeutung erlangten) hat in der Scholastik THOMAS VON AQUIN eine *tertia opinio* hinzugefügt, die im 14. Jh als *opinio modernorum* das Feld beherrschte.

---

14 Diese Problematik ist ja auch in den Thesen von 1277 angeschnitten worden.

15 Dazu Anneliese Maier, Die Struktur der materiellen Substanz. In: An den Grenzen von Scholastik und Naturwissenschaft. Die Struktur der materiellen Substanz. Das Problem der Gravitation. Die Mathematik der Formlatituden, 2. Aufl. Rom 1952 (= Anneliese Maier, Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik 3), 1-140.

In der metaphysischen Betrachtung bestehen auch die vier Elemente aus *materia prima*, die erst als *compositium* durch die Form die spezifische Ausformung als Element erhält. Als weiteren Faktor dachte man sich die vier ersten Qualitäten warm, kalt, feucht und trocken, die man als *qualitates alterativae* bezeichnete, weil sie aktiv qualitative Veränderungen bewirken können (ein warmer Körper wärmt einen anderen, ein nasser befeuchtet einen anderen). Hinzu kommen die sekundären taktilen Qualitäten (ein Körper sei nur durch den Tastsinn als Körper erfassbar): schwer, leicht, dicht, dünn, rau, glatt, hart und weich; diese Qualitäten bewirken keine Veränderungen, sondern bilden Gegensätze – Licht ist keine Qualität dieser Art, weil Dunkelheit kein *contrarium*, sondern eine Negation sei (im Sinne der Abwesenheit von Licht). ORESME unterscheidet in der Mitte des 14. Jhs drei Gruppen von Qualitäten.

Aus diesen und weiteren, rein logisch abgeleiteten Faktoren war – ARISTOTELES erweiternd – in der scholastischen Philosophie ein höchst kompliziertes System gebildet, das in sich schlüssig die verschiedenen Erscheinungsformen der Materie und im weiteren damit aber auch (unterschiedliche) Eigenschaften der Menschen erklären sollte. In diesem Zusammenhang ergaben sich weitreichende Fragestellungen bis hin zur Frage der Entwicklung von Stoffen wie Eigenschaften, von materiellen wie menschlichen Dispositionen und damit bis hin zu Verantwortlichkeit und Determination. Letztlich vermochte man der sich ergebenden Probleme in ihren unüberschaubaren Verstrickungen im 13. und 14. Jh nicht Herr zu werden. Darin liegt einer der Gründe für das Erstarken des (auch im 14. Jh partiell vorhandenen) Atomismus im 17. Jh und für die Schwierigkeiten, mit denen die Entwicklung der Chemie zu kämpfen hatte.

An der Diskussion dieser Frage in zahlreichen Traktaten haben nahezu alle führenden Köpfe teilgenommen.

Das Problem der Bewegung

Die Frage nach der Ursache der natürlichen Bewegung von Körpern stellte ein anderes schwerwiegendes Problem nicht nur der Spätscholastik dar[16]. Der ostensibelste Fall war natürlich der freie Fall und mit ihm die Frage der – in moderner Fassung – Gravitation. Letztlich ging es aber um jegliche Bewegung bzw. Ortsveränderung (*motus localis*) unbeseelter Körper, vom Aufsteigen des Dampfes bis hin zum Wurf. Es ging dabei im Prinzip darum, ob Bewegung immer auf Grund einer durch einen Beweger gesetzten Einwirkung von außen – ARISTOTELES, in der in der Scholastik zumeist vertretenen Auffassung: „*omne quod movetur, ab aliquo movetur*“ – oder aus einer dem Bewegten eigenen Qualität heraus erfolge. Dabei spielte die Differenzierung zwischen supralunarer und sublunarer Bewegung ebenso eine Rolle wie die Frage des Vakuums. Es wird auf diese Fragen im Zusammenhang mit der Entwicklung der Bewegungslehre bzw. der Impetustheorie (s.w.u.) eingegangen werden.

Denker wie ROBERTUS GROSSETESTE, ROGER BACON, Thomas BRADWARDINE, Johannes BURIDAN, Nicole ORESME u.v.a. haben eine Fülle von Problemen diskutiert und mit diesen Diskussionen unbeschadet vielfach irriger Lösungen zur begrifflichen Erfassung von Bereichen beigetragen, die sich zuvor einer logisch-rationalen Behandlung entzogen haben. Durch diesen Prozess werden Erscheinungen mathematisch fassbar gemacht, die zuvor einer exakten Behandlung überhaupt unzugänglich waren.

1.2 MATHEMATIK UND ASTRONOMIE

1.2.1 Allgemeines

Die Entwicklung der Mathematik setzte im Hochmittelalter nach den computistischen Versuchen, der Chronologie mit der Osterrechnung, mit den frühen Autoren BEDA VENERABILIS, ALKUIN und GERBERT im Zuge der Rezipierung der klassischen Autoren im Übersetzungswerk auf sehr niedrigem Niveau neu ein: Zu Beginn des im Folgenden darzustellenden Aufschwungs im 12. Jh waren die Grundlagen für die

[16] Dazu generell Anneliese Maier, Das Problem der Gravitation. In: An den Grenzen von Scholastik und Naturwissenschaft. Die Struktur der materiellen Substanz. Das Problem der Gravitation. Die Mathematik der Formlatituden, 2. Aufl. Rom 1952 (= Anneliese Maier, Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik 3), 141-254. Maier stellt in dieser Arbeit in den Kapiteln „Die Ursache der Fallbewegung“, Die Fallbeschleunigung“ und „Der freie Fall im Vakuum“ die Entwicklung dieser Fragen in der spätscholastischen Naturphilosophie in allen Details dar.

Beschäftigung mit der Geometrie vor allem des BOETHIUS und GERBERTs "Geometria" in 94 Kapiteln (s.o.); daneben wurde auch noch ISIDOR VON SEVILLA benützt. Insgesamt waren die Kenntnisse im Verhältnis zu dem, was in der Antike bereits selbstverständlich gewesen war, rudimentär. GERBERT war der Erste, der im Grenzgebiet zum muslimischen Teil der iberischen Halbinsel Kenntnis von den indisch-arabischen Zahlzeichen erlangte; im ausgehenden 10. Jh tauchten die ersten lateinischen Traktate zu diesem Thema – meist unter dem Titel „Dixit Algorizmi“ oder ähnlich – auf und im 12. Jh entstanden aus diversen Überlieferungen und Übersetzungen (vor allem durch GERHARD VON CREMONA, ROBERT VON CHESTER und JOHANN VON TOLEDO) umfangreichere und eingehendere Kompilationen, in denen Arbeiten AL-KHWARIZMIs (insbesondere seiner 1145 bereits übersetzten Algebra) und anderer arabisch-muslimischer Autoren in mehr oder weniger zutreffender Weise und auf eher elementarer Ebene zugänglich gemacht[17] und sehr langsam die arabischen Ziffern eingeführt wurden[18]. Auf diesem Wege erfolgte die mühsame Aneignung der mit den neuen Zahlen möglichen Rechenoperationen. Im 13. Jh hat FIBONACCI mit seinem Liber abaci von 1202 (s.w.u.) für mehr Klarheit und haben die weit verbreiteten Lehrbücher von Johannes de SACROBOSCO und von ALEXANDER DE VILLADIEU die weite Verbreitung, ja Erhebung des Rechnens mit den arabischen Zahlen zum Standard bewirkt. Hinsichtlich der weiteren Entwicklung war die Rezipierung EUKLIDs von größter Bedeutung, die (neben anderen) maßgeblich durch ADELARD VON BATH auf Grundlage arabischer Texte und im weiteren durch Campanus DE NOVARA bewirkt worden ist (s.w.u.). In neuerer Zeit ist durch die wissenschaftsgeschichtliche Forschung vor allem im angelsächsischen und französischen Bereich bereits für das 12. und 13. Jh eine ungeheure Fülle von auf Übersetzungen zurückgehenden Manuskripten und von Rezipierungsschritten festgestellt worden, die sich bis in das 15. Jh hinein erstrecken. Der Einfluss der EUKLID-Rezeption kann kaum überschätzt werden, er streckte sich ja nicht nur auf die Geometrie, sondern ebenso auf die Arithmetik und beeinflusste vor allem auch die Form und Methode mathematischen Arbeitens zutiefst.

Ähnliches gilt für die Astronomie, die in der Frühzeit praktisch ausschließlich aus computistischen Gründen, d.h. der kirchlichen Osterrechnung halber, des Kalenders wegen betrieben worden ist. Eine beobachtende Astronomie von Belang existierte nicht.

Beide Fächer – die Mathematik wie die Astronomie – waren mit einander verknüpft und beide waren sie Teil der septem artes, des quadriviums. Allein dieser Umstand schon sicherte ihnen Aufmerksamkeit und Pflege. Doch die Aneignung höherer Kenntnisse, wie sie überhaupt erst als Vorbedingung für das Verständnis dessen erforderlich waren, was in der Antike, und mehr noch dessen, was dann von Muslimen erarbeitet worden war, vollzog sich nur langsam und mühevoll[19].

Es setzte zwar im 12. Jh das Übersetzen bedeutenderer Autoren aus dem Arabischen ein – sowohl klassischer wie auch muslimischer Schriften –, doch erschloss sich der direkte Zugang zu den großen Autoren erst im Verlaufe des 13. Jhs. Die ersten Materialien, die nachweisbar sind, sind solche zum stereographischen Astrolabium, wie es PTOLEMAIOS bereits beschrieben hatte und wie es in Handhabung und Beschreibung über den katalanisch-provencalischen Raum in das lateinische Europa gekommen und seine Beschreibung aus einer arabischen Abhandlung von HERMANNUS DALMATUS 1143 ins Lateinische übersetzt worden ist – es war dies der Auftakt einer Fülle von Übersetzungen. Im Wege des Gebrauchs des Astrolabiums, das ja eine enorme Vielfalt von astronomischen Anwendungen in sich vereint, erschlossen sich erst einmal die Grundzüge der Astronomie, und es wurde damit die Rezipierung der höheren Kenntnisse vorbereitet. Es wurden nun auch Tafelwerke zugänglich gemacht – die Tafeln AL-KHWARIZMIs, die Tafel des AL-BATTANI und schließlich die wesentlich von AL-ZARQALI erarbeitete Toledanische Tafel; sehr bald wurden diese Tafelwerke auf einzelne europäische Orte adaptiert (um 1145 für Pisa, um 1150 für London) und auch verbessert. Die Übersetzer dieser frühen Phase waren vor allem HERMANNUS DALMATUS, PLATO VON TIVOLI und RAYMOND VON MARSEILLE, welch Letzterer als Erster eigenständig tiefer in die Materie eindrang und zu arbeiten begann. In weiterer Folge entstanden dann die

[17] Dazu eingehend André Allarad, The influence of Arabic mathematics in the medieval West. In: EHAS II 539-580.

[18] Der Prozess ihrer allgemeinen Etablierung sollte bis in das 14. Jh hinein andauern. – Die Zahlzeichen hatten bereits innerhalb des muslimischen Raumes starke regionale Veränderungen erfahren. Als nun die iberischen Versionen rezipiert wurden, erfuhren sie allein schon auf Grund des Umstandes, dass sie im lateinischen Bereich von links nach rechts – und nicht wie im arabischen Bereich von rechts nach links – geschrieben wurden, weitere Veränderungen.

[19] Zum Einfluß der arabischen Autoren auf die Anfänge der lateinisch-europäischen Astronomie vgl. Henri Huogonnard-Roche, The influence of Arabic astronomy in the medieval west. In: EHAS I 284-305.

ersten Lehrwerke, von denen sich einige (wie etwa „De sphaera“ des Johannes de SACROBOSCO) erstaunlich lang hielten (was freilich von geringen Fortschritten zeugt). Es war vor allem die Theorie des Planetensystems, an der im Wege der Erarbeitung einschlägiger muslimischer Traktate in Übersetzung anfangs durch GERHARD VON CREMONA mit die Spezialisierung einsetzte, die aber erst in der Mitte des 13. Jhs mit Campanus DE NOVARA (s.w.u.) einigermaßen Niveau erreichte, indem dieser Arbeiten von PTOLEMAIOS, AL-FARGHANI und anderen zusammenführte. Auch wenn die Intensität der Befassung und der Umfang der Kenntnisse zunahmen, so stand die Befassung mit der Astronomie im Westen bis in das 14. Jh letztlich unter theoretisch-philosophischer Dominanz und im Abwägen zwischen den zahlreichen Lösungsversuchen, wie sie etwa ab den 1260er Jahren vor allem aus muslimischen Autoren einschließlich der AL-HAYTHAMschen Kritik an PTOLEMAIOS und möglicherweise auch dem Werk des AL-TUSI bekanntgeworden waren. Dies hauptsächlich deshalb, weil es nach wie vor an selbstständiger beobachtender Astronomie und an den erforderlichen trigonometrischen Kenntnissen mangelte. Erst mit JOHANN VON GMUNDEN und mehr noch mit Georg von PEUERBACH und REGIOMONTAN wird die Grenze zu einigermaßen selbständiger Arbeit überschritten und nochmals eineinhalb Jahrhunderte später – nach KOPERNIKUS, dessen Abhängigkeit von der muslimischen Astronomie Gegenstand heftiger Diskussionen ist – mit Tycho BRAHE und KEPLER ein gänzlich neues Kapitel eröffnet.

1.2.2 Die führenden Köpfe

Abraham bar Hiyya Ha-Nasi – Savasorda († 1136 ?)
SAVASORDA[20] war ein katalanischer Jude, der die meiste Zeit in Barcelona lebte und sowohl im arabischen wie im christlichen Bereich tätig war. Mit seinem Traktat zur praktischen Geometrie

– **Hibbur ha-meshihah we-ha-tishboret**, **Liber embadorum**[21], der 1145 von PLATO VON TIVOLI[22], mit dem SAVASORDA in enger Zusammenarbeit gestanden zu haben scheint, in das Lateinische übersetzt wurde, steht er zusammen mit der im selben Jahr übersetzten Algebra des AL-KHWARIZMI am Beginn der abendländischen Algebra. Das Werk stellt zugleich den ersten konkreten Kontakt des Abendlandes mit EUKLIDs Elementa und mit der arabischen Trigonometrie dar und hat FIBONACCI wesentlich beeinflusst. SAVASORDA verfügte über gute Kenntnisse wichtiger antiker und arabischer Autoren, vor allem des EUKLID, des APOLLONIOS VON PERGE, des AL-KHWARIZMI und des AL-KARAJI. Savasorda selbst steht auch in der Tradition einer alten hebräischen Geometrie unter dem Titel Mishna ha-Middot (ca 150 nChr), die auch die frühen arabischen Ansätze beeinflusst hat.

SAVASORDA war auch als Übersetzer tätig (so des Opus quadripartitum des PTOLEMAIOS und auch von De motu stellarum des AL-BATTANI) und Verfasser astrologischer Werke.

Leonardo Fibonacci (ca. 1170 – nach 1240)
Leonardo FIBONACCI, lat. Leonardus Pisanus. Er bewirkte mit seinem berühmten und weit verbreiteten "Liber abaci" von 1202 die wirksame Verbreitung der von GERBERT propagierten neuen Rechenmethoden; sie erfolgte (nicht ohne Widerstand) erst in Italien und später auch im Norden. FIBONACCI (diese Namensform wird erst in der Neuzeit allgemein für Leonardus Pisanus üblich) entstammte einer Kaufmannsfamilie Bonaci mit weitreichenden geschäftlichen und geistigen Verbindungen; er wurde von seinem Vater nach Algerien gebracht, wo er von einem von ihm selbst als exzellent beschriebenen Lehrer das Rechnen mit „den neuen indischen Zahlen“ erlernte. Weitere Reisen führten ihn bis Byzanz, Syrien und Ägypten. Um 1200 kehrt er nach Pisa zurück und betreibt intensive Studien, u.a. auch des EUKLID. 1225 wird er FRIEDRICH II. vorgestellt, als dieser in Pisa ist, zuvor wohl schon hatte FIBONACCI mit Gelehrten am Hofe FRIEDRICHs in Kontakt gestanden.

---

20 Dieser Name entstand aus der Verballhornung eines arabischen Beinamens, wird aber allgemein zur Kennzeichnung dieser Person verwendet.

21 Lat. embadum, -i n. = die Grundfläche.

22 PLATO VON TIVOLI (Plato Tiburtinus) lebte in der 1.H. des 12. Jhs in Barcelona, wo er für die Zeit zwischen 1132 und 1146 nachweisbar ist. Er war einer der ersten, die sich auf der iberischen Halbinsel außerhalb des muslimischen Bereiches wissenschaftlich betätigten, indem er klassische, hauptsächlich aber muslimische Autoren aus dem Arabischen und dem Hebräischen in das Lateinische übersetzte. Insbesondere hat er als erster PTOLEMAIOS übersetzt. Sein Einfluss als *Übersetzer reich bis weit in das 13. JH und zahlreiche führende Autoren berufen sich noch auf ihn – ROBERTUS GROSSETESTE, ALBERTUS MAGNUS, FIBONACCI. Seine Arbeit ist von der SAVASORDAs nur schwer zu unterscheiden.

- **Liber abaci** (1202, 1228), es handelt sich um ein sehr eingehendes, 459 Seiten starkes [wissg-079-708::Werk]. Das Wort Abacus im Titel dieses Werkes bezieht sich nicht auf den alten Abacus (das Sandbrett), sondern meint Rechnen im Allgemeinen. 1228 hat es FIBONACCI in Hinblick auf den Wunsch nach einem Exemplar seitens des MICHAEL SCOTUS durch Hinzufügungen und Kürzungen überarbeitet und MICHAEL SCOTUS gewidmet. Nur diese Fassung ist erhalten geblieben; die Ur-Fassung ist verloren. Das Werk ist in 15 Kapitel gegliedert:
  - Kapitel 1-7: FIBONACCI behandelt erst die römischen Zahlzeichen, dann das Fingerrechnen (das in der Praxis für Nebenrechnungen gehandhabt wird) und geht dann zu den indischen Zahlen über, wobei er die arabische Schreibweise übernimmt (die Zahlen sind an den Anfang, d.h. nach rechts orientiert). Schließlich behandelt er die Grundrechnungsarten, wobei er den Bruchstrich und andere Schreibweisen einführt.
  - Kapitel 8-11: hier handelt es sich wesentlich um kaufmännische Probleme
  - Kapitel 12-13: dies ist ein sehr inhaltsreicher Teil (etwa ein Drittel des gesamten Werkes) mit kniffligen Aufgaben, die z.T. bereits in der ägyptischen Mathematik oder z.B. bei DIOPHANT vorhanden waren und über die Jahrhunderte hinweg tradiert worden sind: z.B. eine Spinne kriecht pro Tag x cm aus eine Zisterne nach oben, jede Nacht gleitet sie y cm zurück, wielange braucht sie, um den Rand der Zisterne zu erreichen? Am berühmtesten aber die Kaninchenaufgabe, die in die als FIBONACCI-Folge bezeichnete Zahlenreihe (1,1,2,3,5,8,13,21,34,55 etc.) mündet[23]. Einige dieser Aufgaben münden in relativ komplexe Gleichungen.
  - Kapitel 14-15: beruht wesentlich auf EUKLID (2. Buch) und befasst sich eingehend mit Wurzelrechnung, wobei die Beispiele wesentlich aus AL-KHWARIZMI und AL-KARAJI stammen, z.T. sogar mit denselben Werten. Für die Potenzen verwendet er *quadratus* oder *census*, *cubus*, für x^4 *census de censu*, für x^6 *cubus cubi*.
- "**Practica geometriae – Praktische Geometrie**" (1220/1221), dieses Werk verfolgt wissenschaftliche Interessen und ist auch an entsprechende Interessenten gerichtet; es baut auf auf der Kenntnis des PLATO VON TIVOLI bzw. auf der von diesem übersetzten Geometrie des SAVASORDA, der es stark ähnelt und die es aber an Ausführlichkeit weit übertrifft, und ist wesentlich auch eine Auseinandersetzung mit EUKLID im Wege verschiedener Überlieferungen (u.a. der Agrimensoren). Die Beispiele münden teilweise in quadratische Gleichungen. FIBONACCI hat zumindest die Bücher 2 und 10 des EUKLID sehr eingehend studiert. Die Beispiele handeln von der Teilung von Feldern in bestimmten Verhältnissen, Berechnung von Sehnen
- "**Liber quadratorum – Buch von den Quadraten**", ist unvollendet geblieben (1225)
- „**Flos“** (1225) beschäftigt sich mit Fragen, die FIBONACCI bei FRIEDRICHS II. Besuch in Pisa vorgelegt worden sind; es befinden sich darunter kubische Gleichungen, wie sie auch bei AL-KHAYYAM zu finden sind und geometrisch gelöst werden. FIBONACCI gibt Näherungslösungen, gibt aber nicht an, wie er diese gewonnen hat.

FIBONACCI ist aber ein unabhängiger souveräner Geist, 1202 ist Geburtsstunde der europäischen Mathematik. Interpretiert eine negative Zahl als Schuld.

FIBONACCI ist offenbar der Erste gewesen, der sich über die Übersetzung des AL-KHWARIZMI hinaus mit der Gleichungslehre beschäftigt hat, die in Ansätzen schon im alten China, in Indien und im Alten Orient, dann aber besonders in Griechenland entwickelt worden war. Hinsichtlich der Würdigung dieser Leistungen ist zu bedenken, dass diese Gleichungen nur verbal vorlagen:

"*Si vis dividere decem in duas partes, que insimul multiplicate faciunt quartam multiplicationis maioris partis in se, pone pro maiori partem radicem, quem appelabis rem, remanebunt pro minori parte decem, minus re...* (Wenn du 10 in zwei Teile zerlegen willst, die miteinander multipliziert den vierten Teil des Quadrats des größeren Teiles ergeben, so nimm den größeren Teil als Unbekannte an und nenne ihn x; dann werden für den kleineren Teil 10-x bleiben....". In moderner Schreibung: (10-x)x = x2/y.)

Die Unbekannte x wird hier als *res* bezeichnet, auf Italienisch als "*cosa*". Aus diesem Wort *cosa* ist die spätmittelalterliche Bezeichnung "*Cossisten*" für Rechenmeister und durch graphische Umformung

[23] Die Kenntnis dieser Folge ist weit älter, die an sich weit älter; sie findet sich bereits in Sanskrit-Texten aus der Zeit um 450 vChr. Diese Zahlenreihe kann vielfältig – auch als Spirale – interpretiert werden, wie sie häufig in der Natur (bei Pflanzen insbesondere) vorkommt. KEPLER hat die Verwandtschaft zu Zahl ψ, dem Goldenen Schnitt (a:b=(a+b):a), festgestellt.

einer paläographischen Kürzung dann unser „x“ entstanden; das älteste bekannte Beispiel symbolischer Algebra findet sich in einer Admonter Handschrift von 1380, die sich heute leider in der Bodleian Library in Oxford befindet. Die moderne Schreibweise ist definitiv allerdings erst von DESCARTES eingeführt worden (s.w.u.).

FIBONACCI rechnete nicht nur mit der Null, sondern auch mit irrationalen Zahlen, er kannte auch Annäherungsverfahren für die Errechnung der Quadrat- und der Kubikwurzel; er errechnete $\pi = 3{,}1418$ aus 1440/458,2 = 864/275 = 3 1/7. Hinsichtlich der bei FIBONACCI gegebenen (und auf griechischen wie vor allem muslimischen Vorlagen beruhenden) Gleichungslehre tritt erst im 16. Jh eine neue Phase ein.

Jordanus de Nemore (fl. 1220)

JORDANUS DE NEMORE, Mathematiker und Mechaniker (dazu s.w.u.), über den so gut wie nichts bekannt ist. Die zeitweise angenommene Identifizierung mit dem zweiten Dominikanergeneral JORDANUS SAXO trifft wohl nicht zu. Es nicht einmal klar, worauf sich der Beiname „*de Nemore*“ bezieht. Gesichert ist lediglich, dass seine Werke spätestens um 1260 vorgelegen haben müssen

- **Demonstratio Jordani de algorismo**, ist nicht mit absoluter Sicherheit von Jordanus selbst; dieses Werk ist eine Einführung in die Arithmetik, wesentlich die Rechenarten, wobei die arabischen Ziffern berücksichtigt werden; in seiner eher abstrakten Struktur unterscheidet sich das Werk deutlich von jenem des SACROBOSCO.
- **Arithmetica**, **Elementa arithmetica**, auch **Arithmetica decem libris demonstrata**, die in zehn Bücher gegliederte Arithmetica mit über 400 Aufgaben war lange Zeit ein Standardwerk in der theoretischen Arithmetik im Spätmittelalter; sie ist streng nach dem Vorbild von EUKLIDs Elementa strukturiert – geht von Definitionen aus, stellt Postulate und Axiome auf[24]. **Das eigentlich bahnbrechende Element der Arithmetica bzw. des Wirkens des Jordanus besteht aber darin, dass er das Buchstabenrechnen einführt und damit die mathematischen Operationen zu abstrakten, rein logischen, von den bestreitbaren Zahlenwerten unabhängigen Operationen macht, die die mathematische Diskussion von Problemen ermöglicht, wie sie bis dahin noch nicht gegeben war – es erfolgt eine Abkoppelung von konkreten Beispielen**. Buchstaben waren bis dahin zwar verschiedentlich in Verwendung gewesen, aber immer nur in einzelnen, bestimmten Fällen, nie durchgängig als Ersatz für Zahlen. Es stellt dieser Fortschritt des sogenannten Literalkalküls – der natürlich noch nicht die Einführung der modernen algebraischen Schreibweise bedeutet[25] – die Grundlage dar für die Entwicklung der Calculatoren-Schule am Merton College im 14. Jh.
- **De numeris datis = De lineis datis** enthält algebraische Regeln und Beispiele, die auf einfache und quadratische Gleichungen hinauslaufen; das Werk ist ebenfalls nach dem Vorbild EUKLIDs gestaltet und wurde von REGIOMONTAN sehr hoch eingeschätzt. JORDANUS DE NEMORE benützt darin Buchstaben für unbekannte Zahlen bzw. für das abstrakte Buchstabenrechnen.
- **Liber Philotegni de triangulis**, **De triangulis** – dieses Werk ist in zwei Versionen bekannt (einer ausführlichen und einer kürzeren Fassung), beruht auf der Rezipierung arabischer Autoren und stellt in seinen vier Büchern einen Höhepunkt der abendländisch-mittelalterlichen Geometrie dar; JORDANUS DE NEMORE handelt eingehend von Dreiecken und Vielecken hinsichtlich ihres Umfanges, ihrer Flächen etc. Buch 4 enthält drei Methoden für die Dreiteilung eines Winkels und auch einen offenbar selbständigen Versuch der Quadratur des Kreises.
- **Demonstratio de plana sphera** – **Planispherium** ist ein Traktat über mathematische Astronomie, der den ersten Hinweis auf die Grundlagen der stereographischen Projektion enthält.

JORDANUS DE NEMORE trennt klar Arithmetik und Geometrie und klärt insbesondere die Position der Arithmetik durch die von ihm aufgestellten bzw. herausgearbeiteten Postulate und Axiome sowie durch den Umstand, dass er in der Arithmetik auf geometrische Beweisführung verzichtet. Überhaupt unterscheidet er sich in der Gestaltung und Durchführung seiner Werke deutlich von den ansonsten gängigen und eher als Lehrbüchern gedachten Arbeiten anderer Autoren.

---

[24] Eingehende Behandlung bei Gericke 105-110.

[25] Dazu w.u.

Alexander de Villadieu (1170-1250 ?)

ALEXANDER DE VILLADIEU, französischer Franziskaner und wichtiger Grammatiker, ist in der Mathematik nicht wegen etwaiger eigenständiger Arbeiten belangvoll, sondern wegen seiner lange weithin verbreiteten Lehrgedichte auch mathematischen Inhalts , z.B.

- **Carmen de algorismo**, das wesentlich zur Verbreitung der arabischen Zahlen und der Null als einer Zahl beigetragen hat, zahlreiche Übersetzungen, darunter sogar ins Isländische! Ähnlich sein
- **Doctrinale puerorum**, das Computistik und Grammatik enthielt.

Johannes de Sacrobosco († 1244/1256)

Johannes de SACROBOSCO (auch John of Halifax, John of Holywood), lehrte ab ca. 1230 in Paris, wo er um 1250 gestorben ist[26]. Für ihn gilt dasselbe wie für ALEXANDER DE VILLADIEU: SACROBOSCO ist als Verfasser von drei weitest verbreiteten, zumeist auch in einer Handschrift zusammengefassten Lehrbüchern bekannt und wirksam geworden, die gewissermaßen den Standard der zu seiner Zeit gehobenen Ausbildung vermitteln:

– „**De Algorismo**“ = "**Algorismus vulgaris seu Tratctaus de arte numerandi**"), ist das wohl weitestverbreitete mathematische Lehrbuch über das Rechnen mit positiven ganzen Zahlen im Spätmittelalter und hat für die Verbreitung der neuen Methoden gesorgt. Bei SACROBOSCO wird das neue System so beschrieben: "*man muss wissen, dass es gemäß den 9 Einheiten 9 geltende Zahlzeichen gibt, nämlich 1,2,3,4 ... 9 und 0, die Figur des Nichts, die jedoch an der richtigen Stelle gesetzt anderen Figuren* [Zahlen] *einen höheren Wert gibt* [z.B. 200]. *Eine reine articulus-Zahl* [= eine durch 10 teilbare Zahl] *kann nicht ohne eine oder mehrere Nullen geschrieben werden*"[27]. [28] Er benennt auch die Zahlen im Sinne des Stellenwertsystems und meint dazu: „ *Wir schreiben hier von rechts nach links nach Art der Araber und der Juden, der Erfinder dieser Wissenschaft*“ – George SARTON hat vermutet, dass diese Aussage die Ursache für die Benennung der neuen Zeichen als „arabische Ziffern“ gewesen sein könnte. SACROBOSCOs Werk, das früh in Nationalsprachen übersetzt worden ist, behandelt (teilweise in Versform) das Rechnen mit ganzen Zahlen und kennt dafür unter der Oberbezeichnung „*algorismus*“ (nach dem angeblichen König Algor) neun Rechenarten, nämlich:
  – das Zählen = *numeratio*
  – das Addieren = *additio*
  – die Subtraktion =*subtractio*
  – das Halbieren = *mediatio*
  – das Verdoppeln = *duplatio*
  – die Multiplikation = *multiplicatio*
  – die Division =*divisio*
  – das Summieren der natürlichen Zahlenreihen in den geraden und in den ungeraden Zahlen: 2+4+6+8+10...
  – die *progressio* 1+3+5+7+9...
  – das Wurzelziehen (Quadrat- und Kubik-) = *extractio*

– **Tractatus de sphaera**, auch „**Sphaera mundi**“, veröffentlicht um 1220; auf dieses Werk vor allem gründet sich SACROBOSCOs Ruhm. Es besticht vor allem durch die didaktisch hervorragende, leicht fassliche Darbietung des Stoffes, durch die es zum Standard-Lehrwerk über Jahrhunderte bis gegen

---

[26] Über SACROBOSCO, dessen Name in vielen Variationen überliefert ist, ist sehr wenig bekannt. Ohne hinreichende Argumente ist er als Ire, Schotte, Franzose, Brabanter, Katalane und auch als jüdischer Konvertit bezeichnet worden. Als gesichert kann gelten, dass er in Oxford ausgebildet worden ist. DSB gibt seine Lebensdaten mit dem ausgehenden 12. Jh bis 1256 oder 1244 an, als wahrscheinlichen Geburtsort Holywood in Yorkshire in England und als Sterbeort Paris. Nach dem Studium trat er in den Augustinerorden ein, 1220 ging er nach Paris, wo er den Großteil seines Lebens verbringen sollte. 1221 ist er in der schottischen Nation in die Universität aufgenommen worden. Rasch erwarb er sich einen hervorragenden Ruf als Mathematiker (welches Fach er an der Universität lehrte) und wurde zu einem der frühen Propagatoren der arabischen Arithmetik und Algebra. 1231 galt er als eine hervorragende mathematische und astronomische Kapazität. Er ist in Paris zu St. Mathurin beigesetzt. Die unterschiedlichen Todesdaten resultieren aus zwei Interpretationsmöglichkeiten der Grabinschrift.

[27] . Der Begriff "Null" ist um 1500 aus "nulla figura" = keine Zahl, entstanden. Erst im 16. Jh ist die Null als eine Ziffer, also als eine Zahl bezeichnet worden.

[28] Die Gliederung in Dreiergruppen (1,000.000) findet sich erstmals in einer florentinischen Handschrift des 13. Jhs, irrtümlich ist sie früher Georg von PEUERBACH zugeschrieben worden.

das Jahr 1700 hinwurde. Das Werk beruht auf PTOLEMAIOS und den arabischen Kommentaren, insbesondere auf AL-FARGHANI und AL-BATTANI, und ist in vier Kapitel gegliedert, deren erstes von den [wissg-079-709::Himmelssphären] handelt, vom Erdglobus im Zentrum des Kosmos; das zweite Kapitel behandelt die strukturellen astronomischen Elemente wie *primum mobile*, Tierkreis, Ekliptik, Meridian, Polarkreis und die fünf Klimazonen; das dritte Kapitel geht auf Gestirnsbewegungen, unterschiedliche Tageslängen u.ä. ein; das kurze vierte Kapitel bespricht die Bewegung der Sonne und der „anderen" Planeten sowie die Entstehung der Finsternisse. Das Werk fand eine ungeheure Verbreitung und bestimmte so maßgeblich das Bild von Astronomie in weiteren Kreisen; es wurde 1472 in Ferrara als zweites astronomisches Werk überhaupt gedruckt und erlebte bis 1500 insgesamt 25 Ausgaben! Auch wurden – bereits ab 1230, zuerst durch MICHAEL SCOTUS – zahlreiche Kommentare dazu angefertigt und verbreitet, obgleich bereits 1570 nicht weniger als 84 Irrtümer nachgewiesen wurden; noch CLAVIUS hat (im 16. Jh!) einen riesigen Kommentar zu SACROBOSCOs Sphera verfasst. Die Kommentare stellten häufig erhebliche Ausweitungen des ursprünglichen Inhalts dar.

– **De computo ecclesiastico = De anni ratione** ist eine um 1232 entstandene Schrift zur [wissg-079-710::Kalenderfrage], die sich mit Fragen der Chronologie, insbesondere des Sonnenjahres und dem Mond befasst und in manchem die gregorianische Kalenderreform vorwegnimmt und noch im 13. Jh sogar ins Isländische übersetzt wurde.

SACROBOSCO sind auch andere Werke zugeschrieben worden, die uns nicht überliefert sind oder irrig zugeschrieben sind. SACROBOSCOs Bedeutung liegt nicht in etwaiger wissenschaftlicher Originalität, sondern darin, dass er wesentlich dazu beigetragen hat, mathematische und astronomische Kenntnisse wieder einzuführen und mit einem gewissen Standard in das Bildungs- und Ausbildungsgut einzufügen, wie sie sich dann auch in diversen [wissg-079-711::Handschriftenillustrationen] widerspiegeln.

In der 2.H. 13. Jh vollzieht sich langsam, aber stetig die Ausbreitung der arabischen Zahlen, zuerst natürlich in Italien, wo sie im 13. Jh bereits im Bankwesen verwendet werden – allerdings nicht ohne Widerspruch, denn 1299 werden sie in Florenz auf Banken verboten, ebenso in den Statuten der Universität Padua, in denen es hieß, dass die Universitätsbuchhandlung die Preise aushängen sollte, und zwar "*non per cifras sed per literas claras*".

Alfons X. von Kastilien (1221-1284)

ALFONS VON KASTILIEN war ähnlich wie sein älterer Zeitgenosse FRIEDRICH II. wissenschaftlich höchst interessiert und ließ religiöse, philosophische und naturwissenschaftliche Texte ins Lateinische und ins Kastilianische übersetzen In besonderem Maße gilt dies für astronomischer Werke; PTOLEMAIOS wurde samt diversen arabischen Kommentaren übersetzt, ebenso astronomische Werke des AL-HAYTHAM und anderer Autoren. ALFONS VON KASTILIEN ließ eine Serie astronomischer Arbeiten herausgeben, die unter dem Übertitel

- **Libros del saber de astronomia** bekannt geworden sind und praktisch eine Enzyklopädie aller astronomischen Instrumente, mit Erklärung, Messanleitung und -ergebnissen darstellen; das Werk besteht aus 11 Teilen in zahlreichen Büchern:
  - 1-4 Sternkatalog, nicht auf der Grundlage des HIPPARCH und PTOLEMAIOS, sondern des Abd-AL-RACHMAN unter Anwendung von AL-BATTANIs Präzessionswert von 1 Grad in 66 Jahren (gibt 23760 Jahre!!!)
  - 5 Himmelsgloben, überarbeitete arabische Arbeit
  - 6-7 Bücher über Armillen, meist aus AL-ZARQALI, mit vielen Beispielen
  - 8-9 Sphärisches Astrolabium, neu
  - 10-11 Planes Astrolabium, näheres unbekannt
  - 12 Über ein planes Astrolab mit Alhidaden
  - 13-14 über ein astronomisches Universalgerät – "lamina universal"
  - 15 über ein Instrument des AL-ZARQALI
  - 16-17 über das Aequatorium, ein spezielles Instrument, das die Ermittlung einer Planetenposition ohne Berechnung ermöglichte.
  - 18 über Quadranten

19-23 über Uhren: Sonnenuhren, Wasseruhren, Kerzenuhren, Quecksilberuhren
24 Astrologie
25 Sternbilder und Astrologie, aus zahlreichen Autoren zusammengetragen.

Weiters entstanden unter seiner Förderung die nach ihm benannten

- **Alfonsinischen Tafeln**, deren Original leider verloren ist, nur die Einleitung ist erhalten. Dieses [wissg-079-712::Werk] löst die maßgeblich von AL-ZARQALI erstellten Toledanischen Tafeln ab, wurde in Paris frühestens 1292 bekannt und später oft gedruckt; es wird seinerseits erst 1627 durch die von KEPLER erarbeiteten „Rudolfinischen Tafeln" abgelöst. Die Tafeln für Sonne und Mond geben auch Sekunden an, die für die Planeten nur Grade.

ALFONS VON KASTILIEN soll gesagt haben, dass er – hätte ihn Gott gefragt – die Welt astronomisch besser und einfacher aufgebaut hätte. Seine wichtigsten Mitarbeiter waren Judah BEN-MOSES, Isaac IBN SID und ABRAHAM VON TOLEDO.

Gerhard von Sabbionetta (um 1260)

GERHARD VON SABBIONETTA lebte in der Nähe von Cremona, war vor allem Astrologe und wird oft mit GERHARD VON CREMONA, dem Übersetzer, verwechselt. Die Zuschreibung der beiden nachfolgend genannten und häufig verwendeten wie ausgeschriebenen, inhaltlich aber nicht bedeutenden Werke ist unklar.

– **Geomantiae astronomiae libellus**
– **Theorica planetarum** = PTOLEMAIOS nach AL-FARGHANI und AL-BATTANI, große [wissg-079-713::Verbreitung], auch Übersetzungen (zweimal ins Hebräische)

Campano da Novara († 1296)

Campanus DE NOVARA, für dessen (zusätzlichen) Vornamen Johannes, der oft gebraucht wird, es keinen echten Beleg gibt; er selbst bezeichnete sich nur als *Campanus Nouariensis*, was auf Novara als Geburtsort schließen lässt. Campanus stand im Umkreis der Päpste URBAN IV und BONIFAZ VIII

– **Euklid-Ausgabe**, Campanus DE NOVARA hat vor 1259 einen lateinischen EUKLID erstellt und kommentiert, dessen Text auf der Übersetzung durch ADELARD VON BATH („Adelard II"[29]) 1.H. 12. Jh basierte. Es handelt sich dabei weder um eine Übersetzungsleistung des CAMPANO (zu der er sprachlich nicht imstande gewesen wäre) noch um einen Kommentar, sondern eine Texterstellung auf der Grundlage von Übersetzungen aus dem Arabischen wie auch aus dem Griechischen, wesentlich aber auf „Adelard II". Dieser Text enthielt auch die nichteuklidischen Bücher XIV und XV, wurde der Standardtext der Elementa im Spätmittelalter und wurde auch als erster EUKLID 1482 in Venedig gedruckt (*editio princeps*), bis 1600 folgten mehr als 13 weitere Auflagen.

DE NOVARA verfasste eine Reihe von astronomischen Traktaten, darunter

– **Theorica planetarum**, entstanden in den Jahren 1261-1264, es handelt sich bei diesem anspruchsvollen Werk im wesentlichen um eine dem Almagest des PTOLEMAIOS nachgestaltete Astronomie, vermutlich an Hand der Übersetzung aus dem Arabischen durch GERHARD VON CREMONA in der er die alte, immer wieder aufgegriffene Anschauung vertritt, dass die größte Entfernung eines Planeten (auf den Epizykelbahnen) gleich sein müsse der erdnahsten des nächsten Planeten, weil im Kosmos kein Platz vergeudet würde; auf der Grundlage dieser Annahme hat man ja versucht, von der Mondbahn als der erdnächsten ausgehend die Planetendistanzen zu berechnen. Auch DE NOVARA versucht dies mit Hilfe eines eigens dafür entworfenen Instruments, dem [wissg-079-714::Aequatorium], das später verschiedentlich nachempfunden worden ist und so am Beginn einer spätmittelalterlichen Tradition steht.
– **Tractatus de sphaera**, entstanden nach 1268, ist eine „populärwissenschaftliche" Fassung der sehr anspruchsvollen Theorica planetarum. CAMPANO hat darüber hinaus noch zwei kleine Schriften zu astronomischen Instrumenten verfasst.
Computus maior, entstanden um 1268, ist eine der zahllosen Schriften zur christlichen Zeitrechnung.

[29] Zur Genese der EUKLID-Rezeption s. DSB s.v. Euklid 437-459.

Campanus DE NOVARA hat mit seinen Werken beträchtlichen Einfluss ausgeübt, weil sie auf Grund ihrer Klarheit als Lehrwerke große Verbreitung fanden.

Im 13. und 14. Jh wird eine Fülle von Autoren unterschiedlicher Qualität tätig, die vor allem in der Astronomie im Zusammenhang mit der Rezipierung der arabischen Autoren Lehrbücher verfassen und Kommentare sowie Ausgaben von älteren Werken, auch von Gestirnstafel, die in der Regel zwischen 30 und 40 Fixsterne angeben, häufig sowohl mit den ekliptischen und den äquatorialen Koordinaten[30]. Diese sehr zahlreichen und in vielfältigen Abhängigkeitsverhältnissen von Vorgängerliteratur stehenden Schriften führen zu für sich wenig spektakulären, insgesamt aber sukzessiven Verbesserungen in der Wahrnehmung, im Überblick und in der Handhabung rezipierter astronomischer Kenntnisse im Verlaufe des 14. Jhs, da ja eigenständige Beobachtungen in keiner Weise an die Qualität der arabischen Astronomen herankamen und auch kaum unternommen wurden – schon die wetterbedingten atmosphärischen Gegebenheiten waren ungleich ungünstiger als in den vorderasiatischen Ländern. So blieb es im Wesentlichen bei einer rezipierenden „theoretischen" Astronomie.

Von den wenigen beobachtenden Astronomen jener Zeit sind zu erwähnen

Heinrich Bate (1246–1310)
Heinrich BATE stammte aus Mecheln[31] und war in Paris vermutlich ein Schüler des ALBERTUS MAGNUS. BATE übersetzte eine Reihe astrologischer und astronomischer Schriften des jüdischen Astronomen Abraham IBN EZRA (12. Jh) und verfasste auch Kommentare.

– **Magistralis compositio astrolabii** ist eine Schrift über das Astrolabium, der zu entnehmen ist, dass BATE offenbar in Mecheln mit einem von ihm gebauten Instrument astronomische Beobachtungen durchgeführt hat; die Schrift darüber hat er MOERBEKE zugesandt. BATE hat nachweislich am 31. Jänner 1310 eine Sonnenfinsternis beobachtet und ein kleines Tafelwerk (Tabulae mechlinenses) erstellt.

In Anschluss an CAMPANO hat BATE auch ein Aequatorium konstruiert, mit dessen Hilfe er ohne komplizierte Berechnungen die Planetenörter zu bestimmten suchte. Der zugehörige erläuternde Text ist allerdings sehr kurz und unklar.

– **Tractatus super defectibus tabularum**, diese Schrift – eine Kritik der Alfonsinischen Tafeln (kann frühestens 1292-1296 entstanden sein, da die Alfonsinischen Tafeln vorher in Paris nicht bekannt waren) – ist nur partiell BATE zuzuschreiben.
– **Speculum divinorum et quorundam naturalium**, ist eine umfangreiche Enzyklopädie, die einen neuplatonischen Kompromiss zwischen ARISTOTELES und PLATON darstellt, der aus einer Fülle von griechischen, arabischen und lateinischen Autoren (hier THOMAS VON AQUIN und ALBERTUS MAGNUS) kompiliert ist und zahlreiche physikalische Exkurse enthält: Natur der Materie, Optik, Physiologie, Psychologie, Winde, Kometen, Bienen, Donner, Zeit und Bewegung, Gestirnsbahnen (diese auch in einem Modell ohne Epizykel). BATE hat keinen großen Einfluss ausgeübt, ist allerdings von Nikolaus von KUES verwendet und zitiert worden! Weit größer war sein Einfluss als Astrologe.

Guilelmus De Sancto Clodoaldo (fl. 1300)
Guilelmus De Sancto CLODOALDO der als einer der Begründer der astronomischen Schule in Paris betrachtete werden kann und mit hervorragenden Beobachtungen hervorgetreten ist; über seine Person ist praktisch nichts bekannt. Er beobachtete mittels eine Camera obscura die Sonne, gab 1290 die Ekliptik mit dem sehr guten Wert 23°34 an (sie wird heute für 1290 mit 23°32,30 berechnet), erstellte auch Planetentafeln und befasste sich mit der Kalenderfrage.

---

30 Einer der frühen Autoren dieser Art war LEOPOLDUS DUCATUS AUSTRIAE FILIUS, ein nicht näher nachweisbarer Astronom und Meteorologe in der 2. Hälfte des 13. Jhs. Seine **Compilatio de astrorum scientia**, in 10 Abschnitten, ist eine mit Astrologie durchsetzte Kompilation vor allem aus einem arabischen Autor; Leopoldus kannte zwar die damals weitverbreiteten und besten Tafeln des AL-ZARQALI, hatte aber keine Ahnung von den großen Theorien. Das 6. Buch „De mutatione aeris" enthält eine Meteorologie, die sich offenbar an Erfahrungswerten orientiert (*agricolae dicunt*) und später öfters zitiert wird.

31 Über BATEs frühe Biographie sind wir durch seine astrologische Autobiographie „Liber servi Dei de Machlinia super inquisitione et verificatione navitatis propriae et verificatione nativitatis propriae" sehr genau unterrichtet. Er hat spätestens 1274 dem Magister artium erlangt und 1301 vermutlich den der Theologie. 1274 nahm er am Konzil zu Lyon teil, wo er MOERBEKE kennenlernte. Er hatte in der Folge diverse geistliche Pfründen und Funktionen in Lüttich und anderweitig inne.

Johannes de Lineriis (1. Hälfte des 14. Jhs)
auch Jean de Ligneres. Johannes DE LINERIIS lebte in der Zeit von 1320-1335 in Paris und arbeitete zur Mathematik und zur Astronomie.

In der Astronomie war er derjenige, der für die Verbreitung der alfonsinischen Tafeln sorgte. Seine astronomischen Werke und Tafeln sind verschiedentlich auch mit Werken anderer Autoren verwechselt und vermengt worden, und sie laufen auch unter verschiedenen Titeln. Seine Tafelwerke verschiedenen Inhalts sind auch sehr bald kommentiert worden, was die Lage noch unübersichtlicher macht. DE LINERIIS greift sowohl auf die alfonsischen, als auch auf die toledanischen Tafeln zurück; seine Planetentafeln sind 1483 in eine Edition der alfonsinischen Tafel eingefügt worden. DE LINERIIS hat in zwei Arbeiten in sehr unterschiedlicher Weise über das Aequatorium gehandelt, und es ist ihm auch ein Armillarinstrument zugeschrieben worden, wobei aber unklar ist, was darunter zu verstehen sei. In seinem "Algorismus de minutis" handelt er – ausgehend von den astronomischen Bedürfnissen innerhalb des Sexagesimalsystems vom Rechnen mit Brüchen in diesem System und im allgemeinen. Die Arbeiten sind nur schwer zu datieren. Ob DE LINERIIS 1350 noch einen Fixsternkatalog erstellt hat, ist unsicher.

Nicole Oresme (ca. 1320-1382) s.w.u.

1.3 ZUR SPÄTSCHOLASTISCHEN NATURPHILOSOPHIE: BEWEGUNGSLEHRE UND OXFORD CALCULATORS

Die Theorie der Dynamik nimmt in der Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens eine sehr bedeutende Stellung ein, zumal immer wieder versucht wird, Vorläufer für die moderne Mechanik ausfindig zu machen. Nicht wenige Deutungen klassischer, muslimischer und lateinisch-scholastischer Texte verfolgen in gewissermaßen anachronistischer Weise dieses Ziel, indem sie unbedacht Vorstellungen der neuzeitlichen Physik in Anwendung bringen. Tatsächlich nimmt die Naturphilosophie des 14. Jhs, wie sie am Merton-College und an der Universität Paris vor allem betrieben worden ist, eine bis in das 17. Jh hineinreichende, über den reinen Aristotelismus erheblich hinausgehende Mittlerstellung zwischen der rein abstrakt-scholastischen Diskussion von Naturerscheinungen und dem Einsetzen der Naturwissenschaft in einem modernen Sinne ein, die geprägt ist von der kritischen Konfrontierung des ARISTOTELES mit einer zwar noch wenig versierten, aber unbefangeneren Naturbeobachtung; und sie (und nicht der klassische Aristotelismus) ist die eigentliche Grundlage, auf der GALILEI und seine Zeitgenossen aufbauen. Diese Mittlerstellung ist im Verlaufe der Jahrhunderte sehr unterschiedlich beurteilt worden: LEIBNIZ sprach von einem *barbarismus physicus*, im 20. Jh wollte man – anschließend an die Forschungen des Entdeckers dieser Periode, den Physiker und Wissenschaftshistoriker Pierre DUHEIM – Paradigmenwechsel und Vorwegnahme der Leistungen GALILEIS, ja teils auch NEWTONS sehen, sodass die eigentliche „scientific revolution“ im 14. Jh stattgefunden hätte. Dabei ist die Bewertung je nach Standpunkt der Betrachter sehr unterschiedlich ausgefallen. Heute wird eher auf den grundlegenden Unterschied hinsichtlich der Charakterisierung von Bewegung und auf die geistesgeschichtlichen, auch theologischen Hintergründe hingewiesen[32].

Die Entwicklung der Bewegungslehre zu verfolgen, ist aus mehren Gründen sehr schwierig. Einmal werden rein sprachlich Begriffe bzw. Vorstellungen verwendet, die sich mit unseren Begriffen, dem uns sprachlich zur Verfügung Stehenden nicht decken. Zum zweiten erweist es sich als schwierig festzustellen, was ARISTOTELES wirklich vertreten habe und was man in der so lange sich hinziehenden Diskussion jeweils dafür gehalten hat.

Ausgangspunkt aller Überlegungen war und blieb nämlich bis in den Beginn der Neuzeit ARISTOTELES. Gemeinhin galt nach Ansicht der Forschung bis in die 1980er Jahre[33], ARISTOTELES habe

---

32 Dazu Anneliese Maier (1955), Die Stellung der scholastischen Naturphilosophie in der Geschichte der Physik. In: Ausgehendes Mittelalter. Gesammelte Aufsätze zur Geistesgeschichte des 14. Jahrhunderts I, Rom 1964, Nr 16 413-424, sowie die Zusammenfassung bei Grün 198ff. – Weiters auch Anneliese Maier (1956), Die Stellung der scholastischen Naturphilosophie in der Geschichte der Physik, ebda 413-424, und dieselbe (1960), „Ergebnisse“ der spätscholastischen Naturphilosophie, ebda 425-457.

33 Das Folgende nach Anneliese Maier, Die naturphilosophische Bedeutung der scholastischen Impetustheorie. In: Anneliese Maier, Ausgehendes Mittelalter. Gesammelte Aufsätze zur geistesgeschichte des 14. Jahrhunderts, Rom 1964, 353-379.

formuliert „*omne quod movetur, ab aliquo movetur*“ – alles, was bewegt wird, wird durch etwas bewegt. Nicht heißt es: alles was **sich** bewegt, wird durch etwas bewegt. Daraus wurde gefolgert, dass jede Bewegung eine bewegende Kraft (welchen Begriff es aber eigentlich noch nicht gibt) voraus setzt – eine *virtus* oder *vis motrix*; fällt diese *virtus* weg, so endet die Bewegung. Hinsichtlich von Bewegung werden zwei grundsätzlich verschiedene Arten unterschieden: der *motus coniunctus*, solange nämlich das Bewegte mit dem Bewegenden in Kontakt steht, und der *motus separatus*, sobald das Bewegte vom Bewegenden gelöst ist. Das eigentliche Problem stellt der *motus separatus* artifizieller Körper dar.

ARISTOTELES hat die in der Antike hinsichtlich des *motus separatus* diskutierte Vorstellung, dass eine vom Beweger ausgelöste Wirbelbildung in der Luft das Geschoß vorantreibe, abgelehnt und postuliert, dass der Beweger der Luft als dem Medium einen Teil der *virtus motrix* mitteile, und zwar gewissermaßen schichtweise in einem mit der Entfernung abnehmendem Ausmaß. Dementsprechend nimmt die Geschwindigkeit des Bewegten (unter vollständiger Konsumierung der *virtus motrix*) laufend ab, wobei die Erscheinung eines Widerstandes in die Überlegungen eintritt, sodass in der Scholastik die Geschwindigkeit des Körpers aus dem Verhältnis zwischen treibender *vis motrix* und Widerstand resultiert.

Nach ARCHIMEDES geschah lange kein Fortschritt bis zu SIMPLIKIOS, 6. Jh in Alexandreia, einem der letzten griechischen Neuplatoniker, und Johannes PHILOPONOS, 6. Jh in Alexandreia[34] (s.o.), die in ihren Kommentaren zu ARISTOTELES dessen Auffassung zu verbessern suchen und Stoß und Trägheit andeuten. Auch die arabischen Aristoteliker haben sich in dieser Hinsicht bemüht, insbesondere AVICENNA und AL-BITRUJI. In der Scholastik setzt die Diskussion im lateinischen Bereich ein.

Neuerlich war der zentrale Punkt in der Diskussion der Dynamik die Frage, welchen Standpunkt ARISTOTELES eingenommen habe bzw. welche Auffassung man zu bestimmten Zeiten gewonnen habe, was ARISTOTELES gelehrt habe. Darüber, was ARISTOTELES gelehrt habe, hat man in der Antike schon und im Mittelalter eingehende Erörterungen abgeführt und ist man sich offenbar bis zum heutigen Tage (2007) nicht wirklich einig[35]. Das lautet in einer der letzten Untersuchungen zu diesem Thema[36] nach vielseitiger Diskussion der Äußerungen in der Fachliteratur folgendermaßen:

> *„Zusammenfassung des Forschungsstandes*
> *Bis zu Beginn der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts vertrat also die Forschung, soweit ich sehe, übereinstimmend die These, Aristoteles habe gelehrt, dass die unbeseelten Körper über eine ihnen innewohnende Finalität, zu ihren natürlichen Orten zu gelangen, verfügen. Demnach habe Aristoteles der Materie selbst ein* aktives intrinsisches Prinzip ihrer Bewegung *zugesprochen. Der philosophische Fachterminus für eine solche Position lautet* materieimmanente Teleologie*. […] Unter Herausarbeitung der Bedeutung dessen, was Aristoteles als Natur im Sinne eines Bewegungsprinzips der unbeseelten Körper begreift, soll gegen diese Forschungsposition gezeigt werden, dass Aristoteles mit dem Terminus* Natur *in diesem Fall ausschließlich das passive Vermögen, einer je bestimmten Ortsbewegung unterliegen zu können, bezeichnet.“*

ARISTOTELES hat ja nicht eine klare und einmalige Definition seiner Vorstellungen gegeben, sondern sich an verschiedenen Stellen seiner Schriften und damit auch in unterschiedlichen Zusammenhängen zu dieser Problematik geäußert. Hinzu treten noch die diversen Nuancierungen und Kommentierungen bei einer Vielzahl von Übersetzern und Kommentatoren, die sich mit diesem Fragenkomplex mehr oder weniger eingehend und mehr oder weniger zutreffend auseinandergesetzt haben. Schon bei SIMPLIKIOS ist diese Problematik als offene Frage angeschnitten worden.

Sven MÜLLER (2600) gelangt nach eingehender Analyse aller Textstellen zum Schluss, „*dass entgegen einem breiten Konsens innerhalb der Aristoteles-Forschung Aristoteles den unbeseelten Körpern keineswegs ein intrinsisches aktives Prinzip der Bewegung zuspricht, sondern die unbeseelten Körper als von in bestimmter Weise transzendenten immateriellen Substanzen Bewegtes bestimmt*“. Mit dieser Formulierung wird die Heranziehung des Begriffes „Kraft“ vermieden.

---

[34] S.w.o. und http://plato.stanford.edu/entries/philoponus

[35] So kann man in moderner Literatur lesen, ARISTOTELES habe die Idee der *antiperistasis* vertreten, derzufolge Wirbelbildungen im Medium das Bewegte vorantreiben, während andere Autoren erklären, ARISTOTELES habe diese Idee verworfen (so etwa Maier, Naturphilosophische Bedeutung der Impetustheorie 355). – Bereits BURIDAN hat allerdings darauf hingewiesen, dass diese Idee eigentlich von PLATON aufgebracht und von ARISTOTELES kritisiert worden sei.

[36] Sven Müller, Naturgemäße Ortsbewegung. Aristoteles’ Physik und ihre Rezeption bis Newton, Tübingen 2006, 33.

THOMAS VON AQUIN soll nun – nach MÜLLER – die ursprüngliche Auffassung des ARISTOTELES „*wieder korrekt herausgearbeitet und daran konsequent festgehalten*“ haben. DUNS SCOTUS soll demgegenüber in irriger Interpretation eine radikale Umdeutung vorgenommen haben, der auch Wilhelm von OCKHAM gefolgt sei, was „*eine unbemerkte Wende zum Materialismus*“ darstelle[37]. Mit DUNS SCOTUS wird nämlich der „*Unterschied zwischen dem bewegenden und dem bewegten Prinzip in den physikalischen Körper selbst*“ verlegt und damit die gemeinhin vermeintliche Auffassung des ARISTOTELES „erläutert“. OCKHAM schließt sich dem an und ist ebenfalls „*der Überzeugung, Aristoteles korrekt zu interpretieren*“ – demzufolge wäre „*das aktive Bewegungsprinzip* [der Ortsbewegung … wieder] *ein dem physikalischen Körper inhärentes Prinzip*“[38].

Im 13. Jh bahnt sich aus der Diskussion um das, was man unter aristotelischer, „peripatetischer“ Kinematik verstand, heraus eine Weiterentwicklung der Kinematik dahingehend an, dass man sich langsam von der rein deduktiv-logischen Behandlung des Themas zu lösen und sich um eine mathematisch, quantitative Befassung mit der Thematik bemüht. Zwei Aspekte haben diese Entwicklung maßgeblich mitbestimmt:

- einmal die Einführung des Literalkalküls, d.h. des Buchstabenrechnens der *calculatores*, das „theoretische“ mathematische Operationen ohne exakte Zahlenwerte ermöglichte und in gewisser Hinsicht eine Befreiung von den aristotelischen Fragestellungen und Beweismethoden darstellt und gewissermaßen Selbständigkeit ermöglichte, und
- die Entwicklung graphischer Darstellungsweise, wie sie mit den Namen Nicole ORESME verknüpft ist, eigentlich aber schon etwas früher einsetzt.

Erst vollziehen sich diese Neuerungen in der 1. Hälfte des 14. Jhs am Merton College durch die „Oxford Calculators“ – BRADWARDINE, HEYTESBURY, SWINESHEAD und John of DUMBLETON – und dann an der Universität Paris – BURIDAN, ORESME.

Damit tritt die Bedeutung des Wissens um das, was ARISTOTELES eigentlich gelehrt habe, immer mehr in den Hintergrund und wird schließlich, als von modernerer empirischer Arbeit verdrängt, naturwissenschaftlich belanglos.

Zum eigentlich Durchbruch kommt es jedoch noch nicht, der bleibt dem 17. Jh vorbehalten, indem aber immer noch wesentliche Elemente der scholastischen Naturphilosophie wirksam sind.

Jordanus de Nemore (fl. 1230)

vgl. auch das Kapitel zur Mathematik. Über JORDANUS DE NEMORE ist – obgleich er einer der wichtigsten „Mechaniker“ des Mittelalters und auch ein ausgezeichneter Mathematiker war – so gut wie nichts bekannt. Die früher angenommene Gleichsetzung des JORDANUS DE NEMORE mit dem zweiten Dominikanergeneral JORDANUS VON SACHSEN[39] ist nicht mehr haltbar; die Herkunft des Namensteiles „*de Nemore*“ ist ungeklärt[40]. Vermutlich hat er zeitweise an der 1229 gegründeten Universität von Toulouse gelehrt. Begründet die abendländische Mechanik.

Es wurden ihm 12 Manuskripte zugeschrieben; da aber bereits ab der Mitte des 13. Jhs zahlreiche Kommentare zu Schriften des JORDANUS DE NEMORE und auch selbständigere Arbeiten zum Bereich der Mechanik wegen der überragenden Position des JORDANUS DE NEMORE in diesem Bereich diesem zugeschrieben worden sind und diese Arbeiten darüber hinaus auch seinen Stil nachahmten, ist die Frage der Autorschaft nur sehr schwer zu klären. Die ihm zugeordneten Arbeiten werden in einer Bibliographie erwähnt, die zwischen 1247 und 1260 entstanden ist, sind also wohl alle in der ersten Hälfte des 13. Jhs, jedenfalls wohl vor 1247 entstanden. Die Diskussion seiner Erkenntnisse dauert bis in das 17. Jh an, insbesondere im 16. Jh sind zahlreiche Ausgaben, Übersetzungen und fortführende Arbeiten entstanden, so durch Peter APIAN und Nicolo TARTAGLIA u.a. Die Arbeit

---

37 Müller 147f. und 149.

38 Müller 172f. und 175.

39 JORDANUS VON SACHSEN stammte eigentlich aus Westfalen, 2. Dominikanergeneral, lernte und lehrte in Paris und Bologna, stirbt auf See bei Reise ins Hl. Land. Hat den Orden kräftig erweitert – Dänemark, Polen, Griechen, Palästina als neue Ordensprovinzen, zwei Lehrstühle an der Universität Paris für Dominikaner geschaffen, wichtige Mitglieder treten ein: u.a. ALBERTUS MAGNUS und VINZENZ VON BEAUVAIS.

40 Die Namensform „Nemorarius“ ist eine spätere Ableitung.

- **Elementa Jordani super demonstrationem ponderis** ist die einzige Schrift, die derzeit mit Sicherheit JORDANUS DE NEMORE zugeordnet werden kann; die Arbeit enthält sieben Postulate und neun Theoreme und ist von überragender Bedeutung. JORDANUS DE NEMORE basiert zwar noch auf ARISTOTELES, gelangt aber unter Heranziehung EUKLIDs wie des ARCHIMEDES zu Ermittlungsmethoden, die eine mathematisch-geometrische Darstellung der Probleme und damit die Gewinnung neuer Erkenntnis in Hinblick auf Statik, Hebel und andere mechanische Fragen ermöglicht; so betrachtet er die Schwerewirkung eines Körpers auf der Waage oder auf einer schiefen Ebene als abhängig von der Position im Sinne von Hebelwirkung – er spricht von einer *gravitas secundum situm* – und operiert er letztlich mit Vektoren, er bezieht auch Schwerkraftwirkung auf einer ballistischen Bahn ein und es wird ihm die Erfassung der Regel "was an Kraft gewonnen wird, geht an Weg verloren" zugeschrieben.
- **De ratione ponderis** (auch De ponderositate)[41] überlappt sich teilweise mit den Elementa () und beschäftigt sich dem statischen Moment und seiner Anwendung bei einarmigen Hebel und auf der schiefen Ebene. Ist der Weg zum Prinzip of virtual displacement (ARISTOTELES, JORDANUS DE NEMORE, LEONARDO DA VINCI, DESCARTES, JOHANNES BERNOULLI 1717).

Es kommt im 13. Jh auch langsam die Idee des **Impulses** auf, die bereits im 6. Jh von PHILOPONOS vertreten wurde und auch von SIMPLIKIOS, dann durch AL-BITRUJI und durch die Übersetzungen des MICHAEL SCOTUS in der lateinischen Welt besser bekannt geworden ist, auch ROBERTUS GROSSETESTE hat einige Ideen des ALPETRAGIUS in den Westen gebracht.

Neue Bewegung in die Entwicklung brachte der flämische „Mechaniker“

Gerhard von Brüssel (1. Hälfte des 13. Jhs)

GERHARD VON BRÜSSEL der mit dem „Liber philotegni de triangulis“ des JORDANUS DE NEMORE vertraut war und vermutlich an der Universität Paris tätig war; er verfasste einen

- **Liber de motu – De proportionalitate motuum et magnitudinem**, in dem er in drei Büchern 13 Probleme behandelt, in denen er sich bemüht, die Bewegung von Punkten in unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf gekrümmten Bahnen (Rotation) und ebenso von Teilen geometrischer Figuren in gleichförmige geradlinige Bewegungen zu transformieren. GERHARD VON BRÜSSEL steht mit dem von ihm angewandten Verfahren nahe bei dem von ARCHIMEDES in dessen „Methodenlehre“ angewandten Verfahren, von dem GERHARD VON BRÜSSEL aber keine Kenntnis gehabt haben kann. Er vertritt die Auffassung, dass die Winkelgeschwindigkeit eines Radius die seines mittleren Punktes sei, um damit zu einer gleichförmigen und damit leichter behandelbaren Bewegung gelangen.

Roger Bacon (1214-1292)

(s.o.) ROGER BACON hat sich trotz der Beeinflussung durch JORDANUS DE NEMORE und ROBERTUS GROSSETESTE wenig für Statik und Dynamik interessiert, sondern mehr für das Phänomen der „Kraft“, dem er sich in seiner *species*-Theorie nähert, vor allem für die Frage einer *in distantia* wirkenden Kraft, welches Thema in hohem Maße als astrologisch relevant betrachtet wurde: die astrologische Wirksamkeit von Licht und Gravitation stand damals außer Zweifel; aber wie sollten sie durch einen leeren Raum wirken? ROGER BACON schloss deshalb mit ARISTOTELES, den er ansonsten eher ablehnte, dass es kein Vakuum geben könne.

Pierre Olivi (1248-1298)

Pierre OLIVI aus Serignan, Franziskaner und ARISTOTELES-Gegner, studierte in Paris, stirbt in Narbonne. stellte Überlegungen zum Stoß an, die vage auf die Trägheit hinweisen: er vertritt die Ansicht, dass der Bewegende dem bewegten Körper eine *inclinatio*, eine *species* oder *similitudo* mitteilt, die Bewegung *in absentia motoris* bewirke. Es gibt keinen modernen Begriff, der diesem Phänomen gerecht würde – es handelt sich um einen *modus se habendi*, d.h. gewissermaßen um einen dem bewegten Körper latent innewohnenden Seinsmodus (womit eine gewisse Nähe zum Prinzip der Trägheit gegeben erscheint).

[41] Ausgabe von 1565 s. http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi?step=thumb2;dir=jorda_ratio_049_la_1565

Es liegt hier eine Affinität zu ROBERTUS GROSSETESTE und zur Species-Theorie des ROGER BACON vor, die den Emanationsvorstellungen des Neuplatonismus entspringt[42].

Der erste, der sich konkreter zur Vorstellung eines Impetus geäußert hat (ohne diesen Begriff zu verwenden), war

Franciscus de Marchia (1295-nach 1344)
Franciscus DE MARCHIA, eigentlich Franciscus Rubei (Rossi) aus Pignano in der Diözese Ascoli in der Mark Ancona, ein italienischer Franziskaner und Scotist, der 1319/20 an der Universität Paris gelesen hat und dessen Vorstellungen BURIDAN aufgenommen hat[43]. Die Neuerung bei DE MARCHIA (in dessen Sentenzenkommentar) war nicht nur, dass er (in Reaktion auf das Verbot der Lehre von der Himmelsbewegung durch Seelen im Rahmen der Verurteilung der 219 Thesen von 1277) die Lehre von der Beseeltheit des Himmels zurückwies, sondern auch ausgeprägte naturphilosophische Vorstellungen im Wege scharfsinniger scholastischer Diskussion der aristotelischen Lehren entwickelte, darunter hinsichtlich der Dynamik die Vorstellung, dass der Werfende bei der Trennung nicht dem Medium (wie bei ARISTOTELES), sondern dem Geworfenen eine *vis motrix* mitteilt, die DE MARCHIA als *vis derelicta*, BURIDAN aber als *vis impressa* oder *impetus* bezeichnet; damit vertritt DE MARCHIA ein nicht mechanistisches Prinzip[44]. Die *vis impressa* ist eine intrinsische Kraft, die vom Beweger auf das Bewegte übertragen wird und weder mit der Bewegung an sich noch mit der Kraft des Bewegers identisch ist – sie ist als spontaner (freier – im Sinne von etwas *motu proprio* zu beginnen) Akt zwischen beiden angesiedelt und verliert ihre Wirkung im Zuge der Umsetzung; der Begriff *impetus* fällt bei DE MARCHIA nicht. Als erklärende Analoga wurden der Mühlstein und der Schleifstein herangezogen (und von späteren Autoren vielfach wiederholt). Im übrigen teilt DE MARCHIA die Auffassung des ARISTOTELES, dass die *vis derelicta* gleichsam Schicht für Schicht abnehme (*propter imperfectionis suae entitatis*) – und mit ihr die Geschwindigkeit[45]. BURIDAN wird diese Auffassung nicht übernehmen, sondern die *vis impressa* als eine *res naturae permanentis* betrachten. DE MARCHIA hat seine Impetus-Theorie auch auf die Himmelsbewegungen angewandt, deren Impetus natürlich Gott setzt, weshalb er unvergänglich ist.

Johannes von Jandun (fl. 1325)
Johannes von JANDUN war ein Wortführer der Pariser Averroisten, Kommentator des ARISTOTELES und des AVERROES, studierte in Paris, wo er MARSILIUS VON PADUA kennenlernt und sich mit ihm befreundet, hilft ihm bei der Abfassung des „Defensor pacis“ (1324 fertiggestellt), wird mit ihm exkommuniziert und flieht nach Nürnberg, 1328 ist er bei der Krönung LUDWIGs des Bayern 1328 anwesend. JANDUN formulierte, dass man sich in seiner Zeit zu ARISTOTELES und zu AVICENNA verhielte wie die Affen zu Menschen, man könne die beiden allenfalls nachahmen, aber nie erreichen[46].

Quaestiones super libros Physicorum, sein Hauptwerk, mit enzyklopädischer Einleitung, teilt *die philosophia naturalis* in 6 Teile:

1 Bewegung, ARISTOTELES Physik,
2 Himmelskörper, Elemente, ARISTOTELES „De coelo et mundo“
3 Zeugung und Verfall – ARISTOTELES „De generatione“ und zweites Buch „De anima“ sowie ALBERTUS MAGNUS „De nutrimento et nutribili“ und AVERROES „Colliget“,
4 Eigenschaften (heiß, kalt, trocken, warm) ARISTOTELES „Meteorologica“
5 Metalle und Steine – ALBERTUS MAGNUS „De mineralibus“
6 Organische Körper
   a) Seele – ARTISTOTELES „De anima“,
   b) Leidenschaften – ARISTOTELES „Parva naturalia“,

42
43 S. http://plato.stanford.edu/entries/francis-marchia/
44 Dies im Unterschied zur Heranziehung des Mediums als Mittler mechanischer Einwirkung!
45 Der lateinische Text der Überlegungen DE MARCHIAs findet sich bei Grün 131f.
46 Er stand damit in scharfem Gegensatz zu ROGER BACON, der bereit gewesen wäre, alle Bücher des ARISTOTELES verbrennen zu lassen, oder zu OLIVI, der die Thesen des ARISTOTELES *naturaliter loquendo* – d.h. im Lichte der natürlichen Vernunft, der Erfahrung – für falsch hielt und meinte, er könne nicht verstehen, wie manche Theologen (nämlich THOMAS VON AQUIN) ARISTOTELES und AVICENNA so hoch schätzen könnten; Maier, Stellung der scholastsichen Naturphilosophie 418..

c) Pflanzen,
d) Tiere – ARISTOTELES Zoologie.

JANDUN diskutiert darin eine Reihe von grundlegenden Fragen: ob die Materie in, durch sich teilbar sei, ob die Natur allein aus Materie und Form erklärt werden könne, was Bewegung sei, ob es ein Vakuum gebe und wenn ja, wie kann es darin Bewegung geben, ist die Kreisbewegung ewig andauernd, verfügt das *primum mobile* über unendliche Energie? Es war dies eine unglaublich populäre Arbeit, die noch vor 1500 mehrfach gedruckt worden ist.

JANDUN verfasste eine große Anzahl weiterer **Quaestiones** und **Expositiones**, die kritische und erweiternde Kommentare zu Werken des ARISTOTELES und des AVERROES darstellen. – Bezeichnete sich selbst als Nachäffer des ARISTOTELES und des AVERROES. Diskutierte die zeitliche Endlichkeit oder Unendlichkeit der Welt. Setzte ROGER BACONs Überlegung über die Wirkung einer Kraft über Distanz fort und kam zum Ergebnis, eine solche sei unmöglich. Deshalb interpretierte er die magnetische Wirkung als eine Übertragung durch eine Art „Feld“ – eine vage Vorahnung der FARADAYschen Konzeption. War eher konservativ und trotz seiner Gegnerschaft zum Papst streng orthodox, kirchliche Lehrmeinung behält in seinen Diskussionen immer die Oberhand – "*wir müssen an die biblische Schöpfungsgeschichte glauben*".

Die Oxford Calculators

Im zweiten Viertel des 14. Jhs entwickelt sich auf Grundlage der von JORDANUS DE NEMORE eingeführten Buchstabenrechnung die abstrakte, von Messungen (solche führte man bis in das 17. Jh hinein kaum durch) unabhängige Behandlung von Problemen erst der Mathematik, dann der Physik und sehr bald auch darüber hinaus mit mathematischen Hilfsmitteln, wobei die Anschaulichkeit der Geometrie eine Rolle spielte. Ursprung dieser Entwicklung war im Wesentlichen das [wissg-07B-845::Merton-College] in Oxford, weshalb man auch von den Oxford Calculators oder den Merton Calculators spricht. Die bedeutendsten Exponenten waren Thomas BRADWARDINE, William HEYTESBURY, Richard SWINESHEAD and John DUMBLETON. Da diese Methoden sehr bald ausuferten, wurde später die gesamte Calculationes-Bewegung sehr negativ bewertet. Sie stellt jedoch in so ferne einen sehr wichtigen Beitrag dar, als sie (inhaltlich durchaus noch in der Geistigkeit der Spätscholastik) in eher abstrakter Weise Verfahren entwickelte und erprobte, die fruchtbar zum Einsatz kamen, als die für die Entwicklung der Physik unabdingbaren Messungen mit reellen Werten hinzutraten. In so ferne steht diese Bewegung am Beginn der eigentlichen Mathematisierung der Naturwissenschaften. Erster wichtigster Einsatzbereich war die Mechanik; die äußere Gestalt war die der physikalischen „Sophismata“, in denen (wie ja zuvor schon in den etwas allgemeiner gehaltenen *quaestiones*) nun sehr spezielle Fragen abgehandelt werden.

Die Oxford Calculators sind neben der Pariser Schule BURIDANs die bedeutendsten Träger der spätscholastischen Naturphilosophie.

Thomas Bradwardine (1290-1349)

Thomas BRADWARDINE war[47] ein weiterer sehr verbreiteter Autor und nimmt in der Entwicklung der Bewegungslehre[48] eine wichtige Stellung ein; in seinem

– **Tractatus de proportionibus velocitatum in motibus**, 1328, beschäftigt er sich mit der Frage, wie eine Veränderung in der Geschwindigkeit eines bewegten Körpers auf eine Veränderung der Ursachen, d.h. der auf den Körper wirkenden Kräfte, zurückgeführt werden könne – damit entdeckt BRADWARDINE im Grunde genommen die mathematische Funktion als Mittel der exakten Beschreibung von physikalischen Beziehungen. BRADWARDINE vertrat die Ansicht, dass die grundlegenden Aspekte bereits erkannt, aber nicht korrekt zusammengefügt seien: Bewegung vollziehe sich dann, wenn die bewegende Kraft größer sei als die des Beharrens. ARISTOTELES hatte

[47] BRADWARDINE absolvierte seine Studien in Oxford am Balliol College und am Merton College – 1321 BA, um 1323 MA, 1333 Bakkalaureat der Theologie, 1348 Doktorat der Theologie. 1333 wurde er Kanoniker in Lincoln, weitere geistliche Funktionen folgten, ebenso seine Einführung bei Hofe; 1349 wird er Erzbischof von Canterbury, fällt aber kurz darauf einer Seuche zum Opfer. BRADWARDINE ist als Logiker, Mathematiker, Naturphilosoph und Theologe hervorgetreten, seine Werke dürften im Wesentlichen zwischen 1323 und 1335 in Oxford entstanden sein. BRADWARDINE war der Lehrer WYCLIFFS.

[48] Die Kinematik betrachtet die Bewegung von Punkten und Körpern im Raum, ohne auf die Ursachen der Bewegung einzugehen. Demgegenüber befasst sich die Dynamik mit der Bewegung von Körpern in Hinblick auf das Wirken von Kräften. Beide Bereiche sind Teilbereiche der Mechanik.

erklärt, die Geschwindigkeit eines Körpers entspreche dem Quotienten im Verhältnis von wirkender Kraft zum Widerstand (v= F/R); dies lehnte BRADWARDINE mit der Begründung ab, dass es in diesem Falle auch dann Bewegung geben könne, wenn die wirkende Kraft kleiner sei als der Widerstand, und er lehnte es auch ab, das Maß der Geschwindigkeit aus der Differenz zwischen Kraft und Widerstand zu ermitteln. Er erklärte vielmehr, die Geschwindigkeit sei tatsächlich proportional zum Verhältnis zwischen der bewegenden Kraft und dem Beharren, aber während die Proportionen in geometrischer Reihe[49] sich änderten, vollziehe sich dies in Bezug auf die Geschwindigkeit in arithmetischer Weise[50] (woraus u.a resultiert, dass die Geschwindigkeit 0 ist, wenn die Kraft gleich groß ist wie der Widerstand[51]). Diese Auffassung bezüglich der Verhältnisse stammte aus der Materia medica – schon bei AL-KINDI findet sich die Vorstellung, dass die Wirkung eines Medikaments arithmetisch zunehme, während der Widerstand dagegen geometrisch anwachse; diese Lehre ist durch Arnald von VILLANOVA im ausgehenden 13. Jh verbreitet und durch BRADWARDINEs Kollegen Simon BREDON am Merton College vertreten worden[52]. Die Ergebnisse von BRADWARDINEs Arbeit sind zwar (da er an des ARISTOTELES Grundsatz „*omne quod movetur...*“ nicht rüttelt) falsch, **dem Umstand aber, dass er erstmals den Versuch unternimmt, mathematische Relationen zwischen Kräften, Widerstand (Trägheit) und Geschwindigkeit herzustellen, kommt enorme Bedeutung zu** – es ist dies die vermutlich erste formelmäßig korrekte Fassung eines Problems, wie sie in Folgezeit selbstverständlich wird; ARISTOTELES, von dem BRADWARDINE ausgeht, hatte derlei nie im Sinne gehabt[53]. BRADWARDINE hat die Bedeutung seines Tuns erkannt und formuliert: „*Ignorantiae nebulis demonstrationum flatibus effugatis, superest ut lumine scientiae splendeat veritas*“; tatsächlich ist sein Verfahren sofort aufgegriffen und in den verschiedensten Bereichen angewendet worden, ja hat geradezu einen Boom ausgelöst. Unter diesem Aspekt der Mathematisierung widmet er das gesamte erste Buch seines Tractatus der Einführung in die zur Verfügung stehenden mathematischen Hilfsmittel, wobei er von BOETHIUS ausgeht. Experimentell hat er allerdings nicht gearbeitet. – Die Arbeit BRADWARDINEs ist am Merton College durch John DUMBLETON und vor allem durch Richard SWINESHEAD, aber auch durch Nicole ORESME und andere fortgeführt worden. – Im letzten Buch des Tractatus ist BRADWARDINE auf das Problem der Winkelgeschwindigkeit eingegangen und hat die Auffassung vertreten, dass diese nach dem schnellsten Punkt zu bemessen sei – dies hat eine große Diskussion ausgelöst; HEYTESBURY wird auf dieser Grundlage die Merton-Regel aufstellen, dass man sich nach der Geschwindigkeit des mittleren Punktes zu richten habe.

– **Tractatus de continuo**, mit dieser Arbeit griff BRADWARDINE nach 1328 (wie er im Tractatus bemerkt) eine zentrale Frage aus des ARISTOTELES Physik auf, die seit dem Ausgang des 13. Jhs auf Grund eines Sentenzen-Kommentars des DUNS SCOTUS und auf Grund des Umstandes, dass zu Beginn des 14. Jh wieder atomistische Positionen vertreten worden waren, wieder in heftiger Diskussion stand: die Frage nach dem Kontinuum. BRADWARDINEs gegen die Atomisten gerichtete Arbeit ist streng nach dem Vorbild der Elementa des Euklid aufgebaut – er beginnt mit 24 Definitionen, 10 Annahmen und 151 Schlussfolgerungen und sucht die Kontinuums-Position nach ARISTOTELES in allen denkbaren Bereichen zu erweisen. Interessant ist, dass die Diskussion so gut wie ausschließlich auf mathematischer Ebene erfolgte; ein Argument war beispielsweise, dass die Annahme einer atomistischen Struktur die Inkommensurabilität der Diagonale eines Quadrats zerstöre. Das Hauptargument erarbeitete BRADWARDINE aber an der „Grenzen-Frage“, die ja auch ARISTOTELES angesprochen hatte: wenn die Atome unteilbar sind, gleichen sie Punkten – und ein Kontakt zwischen Punkten sei logisch und geometrisch unmöglich.

BRADWARDINE ist auch durch seine mathematischen Elementarlehrbücher – **"Arithmetica speculativa"** und **"Geometria speculativa"** – für die Artesstudenten bekannt geworden.

---

49 $b+bq+bq^2+bq^3$ …

50 1+2+3+4 …

51 Und nicht 1, wie zuvor in derartigen Überlegungen.

52 Bei der Interpretation des „Tractatus de proportionibus“ des BRADWARDINE ist, wenn er von einer Verdoppelung der Geschwindigkeit wie der Proportionen spricht, zu berücksichtigen, dass damit natürlich im Sinne der geometrischen Reihe eine Quadrierung auf der Ebene der Proportionen gemeint ist!

53 ARISTOTELES spricht auch noch nicht von Geschwindigkeit, sondern nur vom Weg, den ein mobile in bestimmter Zeit zurücklegt; die Formulierungen, wie sie in der Hochscholastik eingeführt wurden (und uns vertrauter sind), sind erst von AVERROES eingeführt worden, Maier Ergebnisse 442 Anmkg 18..

William of Heytesbury (fl. 1335)
William HEYTESBURY zählte zu jenen Wissenschaftlern am Merton College in Oxford, die die Tradition der spätmittelalterlichen *calculationes* begründeten. Es handelte sich dabei um die abstrakt-logische Diskussion gewissermaßen aller möglichen Aspekte quantitativer Veränderungen von Qualitäten wie Kraft, Geschwindigkeit in Raum und Zeit auf Grundlage der Suppositionstheorie[54] der *logica moderna*, wie sie im 13. Jh, ursprünglich im sprachlichen Bereich und im Zusammenhang mit der Universaliendiskussion, herausgebildet worden war. HEYTESBURY[55] war der Urheber des [wissg-079-717::mean-speed-theorem], das besagt, dass ein gleichförmig bewegter Körper A, der sich mit jener Geschwindigkeit bewegt, die den Mittelwert zwischen der Anfangs- und der Endgeschwindigkeit eines Körpers B ausmacht, in derselben Zeit dieselbe Strecke zurücklegt wie der gleichförmig beschleunigt bewegte Körper B. In weiterer Folge hat sich vor allem Richard SWINESHEAD damit befasst (s.w.u.). Die Verifizierung bezüglich des freien Falles haben 1555 Domingo DE SOTO und um 1600 Thomas HARRIOT geleistet. HEYTESBURYs Hauptwerke sind seine **Sophismata**, insbesondere seine

- **Regule solvendi sophismata**, 1335, in diesem Werk sind zwei Kapitel von besonderem Interesse:
  - **De incipit et desinit**, über das Anfangen und das Aufhören, und
  - **De maximo et minimo**; in beiden Fällen geht es um den Beginn und das Ende eines Zustandes, z.B. unter dem Aspekt: „*das Maximum dessen, was Sokrates zu heben vermag, ist begrenzt durch das Minimum dessen, was er nicht zu heben vermag*“; es ist derlei bereits bei ARISTOTELES berührt worden und mehr noch dann bei AVERROES; nun nähert sich die Diskussion der Grenzwertproblematik und dem Funktionsbegriff.

Richard Swineshead (fl. 1340-1355)
Auch „Swindeshead“ und „Suicet“, „Suisset“; DSB zufolge liegt in so ferne ein Problem vor, als angenommen werden muss, dass es drei Personen dieses Namens gegebenen hat, einen John Swineshead, einen Richard Swineshead und einen Roger Swineshead. Über alle drei weiß man kaum Konkretes, nicht mehr als dass sie um die Mitte des 14. Jhs um Oxford, wenn nicht am Merton College gewirkt haben.

John SWINESHEAD am Merton College wurden logische Werke zugeschrieben, er sollte 1372 gestorben sein.

Roger SWINESHEAD gilt als Verfasser (derselben logischen Werke wie John Sw. sowie) physikalisch-kinematischer Werke; er sollte Benediktiner gewesen und um 1365 gestorben sein.

Richard SWINESHEAD soll in den 1340er Jahren am Merton College gewirkt und den „Liber calculationum“ und zwei kinematische Texte verfasst haben.

De motibus naturalibus (Roger SWINESHEAD ?), dieses Werk ist um 1335 nach BRADWARDINEs De proportionibus entstanden, besteht aus acht Teilen und wurde zu einem Standardtext. Es beinhaltet 1. Einleitung, 2. gibt es eine Definition von Bewegung und Zeit, 3. handelt es von der Erzeugung von Bewegung, 4. der Änderung, 5. der Vermehrung von Bewegung, 6. von örtlicher Bewegung, 7. Ursachen für Bewegung und 8. von Maxima und Minima. Das Werk ufert weit über das eigentliche Thema hinaus aus, nimmt teils allgemein naturphilosophischen, teils enzyklopädischen Charakter an. In Hinblick auf die Kinematik setzt er sich eingehend mit BRADWARDINE auseinander und diskutiert die mathematische Erfassung.

Liber calculationum (Richard Swineshead), dieses aus 16 Abhandlungen bestehende Werk ist primär logisch-mathematischen Inhalts in Hinblick auf die mathematische Behandlung physikalischer Variabler. Hatte man sich bis dahin so gut wie ausschließlich mit gleichförmigen Veränderungen von Zuständen (*uniformiter difformis*) befasst, so wird es in dieser Arbeit unternommen, auch kompliziertere Veränderungen – *difformiter difformis* – zu untersuchen.

- Die Abhandlung 1 trägt den Titel „De intensione et remissione“

---

54 Die Supposition ist nach OCKHAM „*das Setzen für etwas, so dass ein Terminus, wenn er so in einer Proposition für etwas steht, dass wir ihn für etwas gebrauchen, von dem er verifiziert wird, er für dieses supponiert*.“ Es ist diesbezüglich ein ausgefeiltes und differenziertes Instrumentarium der terministischen Logik entwickelt worden; s. Historisches Wörterbuch der Philosophie s.v. Supposition.

55 Zu seiner Person ist sehr wenig bekannt, zumal nicht sicher ist, ob verschiedene Personen ähnlichen Namens mit ihm identisch sind. Er ist für die 1330er Jahre und vielleicht die 1340er Jahre in Oxford nachweisbar; ob er mit dem 1371 nachgewiesenen Kanzler ähnlichen Namens der Universität Oxford identisch ist, ist unklar.

- Die Abhandlungen 2-4 geben Definitionen bezüglich der Eigenschaften verschiedener zu untersuchender Körper hinsichtlich deren Intensität, Abhandlung 2 hat den Titel „De difformibus“ und enthält zwei Skizzen, die ähnliche Vorstellungen wie bei ORESME erkennen lassen, deren Interpretation letztlich aber nicht eindeutig ist[56]
- Die Abhandlungen 5-6 handeln von „Dünnheit“ und Dichte und von der Geschwindigkeit von Zunahme
- Die Abhandlungen 7-8 befassen sich mit Reaktion und mit den Kräften, die von Körpern ausgehen und wie sie bemessen werden können
- Die Abhandlungen 9-10 führen diese Thematik fort
- Die Abhandlung 11 handelt vom Ort eines Subjekts (wesentlich in Bezug auf das Gravitationszentrum (was geschieht, wenn ein schwerer, langer [rutenförmiger] Körper das Zentrum der Gravitation passiert),
- Die Abhandlungen 12-13 befassen sich mit dem Licht und seinen Wirkungen (die Wirkung – Kraft – des Lichtes müsse wie die eines jeden anderen Agens messbar sein),
- Die Abhandlung 14 handelt in 49 Regeln das Problem der örtlichen Bewegung wesentlich im Widerspiel von Kraft und Widerstand
- Die Abhandlungen 14-16 handelt von Medium ohne Widerstand und der Zunahme von Kraft und Widerstand.

Es handelt sich bei dieser umfangreichen Arbeit um eine höchst eingehende und abstrakte Erörterung aller damals gleichsam denkbaren Aspekte um das Phänomen Bewegung, gewissermaßen unabhängig von dem, was an natürlichem Geschehen beobachtbar ist – d.h. *secundum imaginationem*.

In librum de caelo + **De motu** + **De motu locali** sind kleinere *opuscula*, die Richard SWINESHEAD zugerechnet werden und die sich teilweise mit Inhalten des „Liber calculationum“ decken.

Der Liber calculationum ist von ORESME, dann aber erst im 15. Jh – und das vor allem in Italien, wo SWINESHEAD als „der Calculator“ apostrophiert wird – in größerem Maße rezipiert worden. Im beginnenden 16. Jh befasst man sich an der Universität Paris eingehender mit ihm und ORESME.

Johannes Buridan (1292/ca. 1295 – ca. 1358/1363)

Johannes BURIDAN aus Bethune, war im 14. Jh der einflussreichste Lehrende der Naturphilosophie an der Universität Paris[57], deren Rektor er 1328 und 1340 auch war. Lehrer des Nicole ORESME. Über sein Leben ist wenig bekannt[58]: er ging als junger Kleriker zum Studium nach Paris, war dann Mitglied des Kollegiums von Navarra; er erlangte spätestens 1327 den Magister der Artes und lehrte in der Folge Naturphilosophie, Metaphysik und Moralphilosophie; er verblieb Zeit seines Lebens in der Artesfakultät und strebte keinen höheren Grad in der Theologie an. 1327 und 1340 war er Rektor der Universität Paris, er bekleidete aber auch andere hohe Ämter. Noch vor 1334 reiste er nach Avignon und war sehr durch die Berge beeindruckt und bestieg in Zusammenhang mit seinen meteorologischen Betrachtungen noch vor PETRARCA (1336) den Mont Ventoux. Vermutlich ist er, der früh höchstes Ansehen genoss, dem Seuchenzug der Pest im Jahre 1358 zum Opfer gefallen, als er eben an einem großen Kommentar zur Nikomachischen Ethik des ARISTOTELES arbeitete[59]. BURIDAN war kein Revolutionär, sondern um Ausgleich zwischen Theologie (von der er nicht viel zu verstehen vorgab) und der Naturphilosophie bemüht, wobei er sich immer wieder mit den 1277 verbotenen Thesen auseinandersetzte. Er war gemäßigter Nominalist. Seine wissenschaftlichen Erkenntnisse waren durch über zwei Jahrhunderte hinweg richtungsweisend – in einem Manuskript an der Universität Köln aus dem Jahre 1425 ist vom vergangenen Jahrhundert als dem Zeitalter BURIDANs die Rede. – Die Geschichte von BURIDANs Esel, der entscheidungsunfähig zwischen zwei gleichwertigen Heuhaufen verhungert, ist wie jene von seinem

---

56 Abbildung bei Cantor II, 123.

57 S. http://plato.stanford.edu/entries/buridan/

58 Dazu Bernd Michael, Johannes Buridan: Studien zu seinem Leben, seinen Werken und zur Rezeption seiner Theorien im Europa des späten Mittelalters, 2 Tle, Diss. Berlin 1985

59 In der Ethik vertrat BURIDAN die Auffassung, dass die Glückseligkeit des Menschen von diesem selbst abhänge, was in etwa der These 176 von 1277 entspricht, die lautet „*felicitas habetur in ista vita et non in alia*“ (Grabher 107, nach Flasch, Aufklärung im Mittelalter? 230)..

Verhältnis zur Königin von Frankreich und seinem dadurch bedingten Ende in der Seine und andere erst lange nach seinem Tod entstanden, mag aber wohl aus mündlicher Überlieferung aus seinen Vorlesungen hergeleitet sein.

BURIDANs Schriften sind im Zuge seiner Lehrtätigkeit in der Artesfakultät entstanden, die dem Curriculum entsprechend immer noch auf den Werken des ARISTOTELES und den begleitenden „Summulae logicales" des PETRUS HISPANUS beruhen sollte; er aber verfasste eigenständig Lehrbücher, so die

- **Summula de dialectica, Scriptum super summulas**, es war dies in gewisser Hinsicht eine modernisierte Version der Summulae logicales des PETRUS HISPANUS unter Bezugnahme auch auf die Logik des William von OCKHAM; diese Arbeit ist bald wiederum selbst kommentiert worden[60],

und zwei logische Schriften, nämlich

- **Consequentiae** und
- **Sophismata**[61];

BURIDAN legte als überzeugter, aber letztlich gemäßigter Anhänger OCKHAMs (dessen Lehre er in Paris in führender Weise vertreten hat) großes Gewicht auf die Logik und verteidigte gegen Angriffe das Kausalitätsprinzip als eine der Grundlagen des Denkens; er diskutierte auch das Problem des freien Willens im Gegensatz zum Determinismus, dem er unter der Annahme einer "aufgeschobenen Entscheidung", "*liberum arbitrium indifferentiae*" entkommt (darauf ist das Bild von BURIDANs Esel zurückzuführen, da nämlich ansonsten der Mensch wie ein Esel zwischen zwei gleichwertigen Futterbündeln sterben könnte; BURIDANs Esel findet sich nicht in seinen Schriften, dürfte sich aber wohl aus mündlicher Überlieferung aus seinen Vorlesungen herleiten).

Alle anderen, vielen, Schriften des BURIDAN haben die Form eines Kommentars oder eines kritischen Quaestiones-Textes in Bezug auf verschiedene Schriften des ARISTOTELES. Am berühmtesten sind seine

- **Quaestiones super octo libros Physicorum Aristotelis**, in denen er u.a. zwei große Themen behandelt:
  - die Frage nach der Ewigkeit der Welt, die er zu beweisen sucht: er schließt mit ARISTOTELES von der Ewigkeit der Bewegung der Gestirne auf die Ewigkeit der Welt an sich und lehnt eine *creatio ex nihilo* als naturwissenschaftlich unsinnig ab, das könne zwar nicht deduktiv, wohl aber induktiv bewiesen werden: *per inductionem, in qua non inventa est instantia*; der Satz „*necesse est omne quod fit, fieri ex subiecto praesupposito*" (alles entstehe aus einem vorausgesetzten Zugrundliegendem) sei deshalb zu akzeptieren und die Annahme einer *creatio ex nihilo* somit anzulehnen;
  - die Frage nach der Ewigkeit von Bewegung, die in Zusammenhang mit der von BURIDAN (nicht primär hier, sondern auch in anderen Schriften dazu beitragend) aufgestellten neuen Theorie der Bewegung zu sehen ist.

In Hinblick auf Wissenschaftsauffassung ist BURIDAN unter zwei Aspekten von großer Bedeutung:

- er erachtet die Naturphilosophie, d.h. das Studium der Naturwissenschaften als einen selbständigen Studien- und Forschungsbereich,
- er definiert Ziele und Methoden von Wissenschaft im Sinne des neuen Nominalismus in Unabhängigkeit von den Dogmen der Theologie und der Metaphysik, ohne der Verdammung zum Opfer zu fallen, die das Schicksal seines Kollegen Jean de MIRECOURT war, dessen Lehren 1347 durch die Universität Paris verurteilt wurden.

Diese seine Auffassungen hat er in seinen Quaestiones zur Metaphysik und konkreter in den Quaestiones zur Physik ausgeführt.

Sehr bedeutsam ist, dass BURIDAN in Hinblick auf wissenschaftliche Erkenntnis dem Induktionsverfahren eine geradezu zentrale Rolle zuerkennt: die Prinzipien der Naturwissenschaft seien nicht unmittelbar evident, man könne lange an ihnen zweifeln; sie seien aber als Prinzipien anzuerkennen, weil sie nicht demonstrierbar und nicht von Prämissen abgeleitet oder durch irgendeine anderes formales Verfahren deduziert werden können, aber doch zu akzeptieren seien, weil sie in vielen Fällen als wahr und in keinem als falsch erkannt worden seien. Das Induktionsverfahren ist für BURIDAN das

60 S. dazu http://www.fordham.edu/gsas/phil/klima/Intro.htm

61 Zu diesem Typus der freieren Behandlung von Einzelproblemen (in etwa entsprechend modernen Aufsätzen in wissenschaftlichen Zeitschriften) s. http://plato.stanford.edu/entries/sophismata

naturwissenschaftliche Beweisprinzip schlechthin, er bezeichnet es als *principium in scientia naturali*. Das Problem des Induktionsbeweises bewältigt er folgendermaßen: „*Erfahrung ist* […] *nichts anderes als eine Induktion aus vielen einzelnen Sinneswahrnehmungen, durch welche der Intellekt* […] *auf Grund seiner natürlichen Neigung zur Wahrheit gezwungen wird, einem allgemeinen Satz zuzustimmen*“ – wer derartige Beweise in Natur- und Moralwissenschaft nicht anerkennen will, sei es nicht wert, als Wissenschaftler ernst genommen zu werden: „*inductio in multis singularibus, per quam intellectus non videns instantiam nec rationem instandi cogitur ex eius naturali inclinatione ad veritatem concedere proporitionem universalem. Et qui non vult tales declarationes concedere in scientia naturali et morali, non est dignus habere in eis magnam partem*“[62]. Freilich fordert BURIDAN eine *inductio experimentalis*, eine auf eigener Erfahrung beruhende Erkenntnis.

Diese Auffassung bedeutete eine Zurückweisung der auf ARISTOTELES begründeten Auffassung, dass die Prinzipien der Natur, der Physik, in der Metaphysik begründet seien. 1277 noch hatte Widerspruch gegen die überkommene Auffassung zur Verurteilung durch Bischof Etienne TEMPIER und die Universität von Paris geführt. BURIDANs Argumentation, die auf einer Generalisierung der Induktion beruhte, war nicht wirklich angreifbar, zumal er bewusst, *expressis verbis*, auf die absolute Evidenz der Naturerkenntnis verzichtete und sich mit einer wahrscheinlichen oder hypothetischen Evidenz der Erkenntnis zufrieden gab. Denn damit schloss er die Möglichkeit übernatürlichen Eingreifens nicht aus und griff er die geltende theologisch-schulphilosophische Lehre nicht an, wie dies NIKOLAUS VON AUTRECOURT getan hatte.

Durch diesen Kompromiss erlangte die Naturphilosophie eine der Theologie gegenüber eigenständige Stellung und ging nun doch auch über die bloße Erläuterung der Lehren des ARISTOTELES hinaus.

BURIDAN hat die überkommenen Lehren des ARISTOTELES als Arbeitshypothesen akzeptiert, nicht aber als sakrosankte, unanfechtbare und unkorrigierbare Dogmen. BURIDANs Behandlung der Frage der Dynamik – vor allem in seinem Kommentar zur Physik des ARISTOTELES[63] – ist ein Beispiel für diese seine Auffassung. Die Frage der Dynamik ist in Ausweitung von Ausführungen bei PHILOPONOS, wie sie von AVICENNA zu finden sind, an der Universität Paris um 1320 durch den Franziskaner Franciscus DE MARCHIA in der Weise vertreten worden (s.w.o.), dass wenn jemand einen Stein wirft, der Werfer dem Stein eine *virtus* verleiht – „eindrückt“, daher *virtus impressa* – , die den Stein zwingt, kurzzeitig von seiner natürlichen Bewegung (zum Boden, zum Erdmittelpunkt) abzuweichen; diese *virtus* würde aber rasch aufgebraucht und dann falle der Stein, seiner natürlich Bewegung folgend, zu Boden. Mit dieser Auffassung stellte man sich gegen die von ARISTOTELES verfolgte Vorstellung, dass stets eine von außen her erfolgende Einwirkung die Bewegung eines Körpers bewirke, und vertrat eben die Vorstellung, dass ein dem Körper selbst (und nicht dem Medium) mit gegebenes Phänomen die Bewegung erhalte[64] – sei es als ein dem Körper latent eigener Seinsmodus oder als ein übertragener Zustand. BURIDAN hat diese Vorstellung übernommen. In seinen Quaestiones zu des ARISTOTELES Physik und in einem diesbezüglichen Kommentar[65] ist er diesem Problem nachgegangen: er wies die aristotelische Erklärung (dass die Luft den Stein vorantreibe) zurück, argumentierte ähnlich wie DE MARCHIA, folgert aber im Unterschied zu diesem nicht, dass eine *virtus impressa* wirke, sondern ein *impetus*, d.h. eine Kraft, die als ein permanentes *agens* dem Körper impliziert werde und – so führt er an anderer Stelle in den

---

62 Maier, Ergebnisse 455. das Zitat richtet sich gegen Nicolaus D’AUTRECOURT, der – wie später die Humanisten – nur absolute Gewissheit gelten lassen wollte.

63 Die Erörterung wird eingeleitet mit dem Satz: „*Zwölftens wird die Frage gestellt, ob ein Geschoß nach dem Austritt aus der Hand des Werfers von der Luft bewegt wird oder wovon es sonst bewegt werden könnte.*“. In: Hans-Ulrich Wöhler, Geschichte der mittelalterlichen Philosophie. Mittelalterliches europäisches Philosophieren einschließlich wesentlicher Voraussetzungen, Berlin 1990, 201-205 (Übersetzung von Hans-Ulrich Wöhler).

64 ARISTOTELES hatte selbst das (auf PLATON zurückgehende) Modell verworfen, dass hinter dem bewegten Körper ein Vakuum entstehen müsste und in dieses sofort Luft nachströme, welche eben den Körper weiterbewege – die hätte gewissermaßen durch den ganzen Kosmos fortgeführt werden müssen. BURIDAN hat dem noch hinzugefügt, dass auch ein am hinteren Ende scharf zugespitzer Speer nicht weniger weit fliege als einer mit einem stumpfen Ende, obwohl die Luft am zugespitzten Ende weit weniger Angriffsfläche hätte als im anderen Fall. Auch bewege sich ein Schiff nach Beendigung der Krafteinwirkung durch am Ufer Schleppende weiter.

65 Der zentrale Text findet sich in der 12. Quaestio zum VIII. Buch der Physik des Aristoteles; abgedruckt bei Anneliese Maier, Zwei Grundprobleme 207-214, und neuerlich (nach Maier) bei Grün 166-171 (mit nachfolgender Erörterung des Inhalts). Übersetzung bei Hans-Ulrich Wöhler, Geschichte der mittelalterlichen Philosophie. Mittelalterliches europäisches Philosophieren einschließlich wesentlicher Voraussetzungen, Berlin 1990, 201ff.

Quaestiones zur Metaphysik aus – „*ad infinitum*“ wirken (und nicht wie bei DE MARCHIA von selbst erlahmen) würde, würde sie nicht durch irgendeine andere entgegenwirkende Kraft gemindert oder zunichte gemacht – womit er in gewisser Hinsicht eine Vorstellung aufnahm, die ARISTOTELES bereits gewonnen, des Problems des Vakuums halber aber wieder verworfen hatte, wenn er in seiner Physik (IV,8) formuliert hatte: "*Es wäre unerfindlich wie in einem Leeren ein einmal in Bewegung gekommener Körper an irgendeiner Stelle wieder zur Ruhe kommen könnte. Denn welche Stelle sollte in einem Leeren eine solche Auszeichnung vor den übrigen Stellen besitzen können? Es bliebe also nur die Alternative: entweder ständige Ruhe oder aber, sofern nicht etwa eine überlegene Gegenkraft hemmend ins Spiel treten sollte, unendlich fortgehende Bewegung*".

BURIDAN hat selbst die Frage aufgeworfen, „*quae res est ille impetus?*“ und den Impetus als eine *res naturae permanentis* in drei Thesen zu fassen gesucht:

- der Impetus ist nicht identisch mit dem *motus localis*, sondern dessen Ursache
- der Impetus ist weder Bewegung als bloßer Prozess, noch Bewegung als Zustand
- der Impetus ist vermutlich eine Qualität, deren Wesen darin besteht, dass sie den Körper bewegt, und die vermutlich von derselben *resistentia* oder *inclinatio contraria* gehindert, vermindert oder zerstört werde wie die Bewegung selbst.

Somit erscheint der Impetus bei BURIDAN als eine Qualität, die lokale Bewegung verursacht, aber wie jedes *agens corruptibilis* ist, zerstörbar *a contrario agente*.

BURIDAN hat seine Vorstellung vom *impetus* nicht nur auf den Wurf angewandt, sondern auch auf eine Fülle anderer Phänomene, so auf die Beschleunigung im freien Fall, auf die Vibration angeschlagener Saiten bis hin zu den Bewegungen der Gestirne im Sinne der griechischen Astronomie. Er definiert den Impetus als eine Funktion der Masse eines Körpers und der Geschwindigkeit seiner Bewegung, womit er der Vorstellung des Moments in der klassischen Mechanik nahe kommt, das ja als Produkt von Masse und Geschwindigkeit definiert wird. Die Koppelung zwischen Masse und Impetus dient BURIDAN auch zur Erklärung, weshalb ein schwerer Gegenstand weiter geworfen werden könne als etwa eine Feder: weil nämlich der geringe der leichten Feder verleihbare und hierauf innewohnende Impetus von der widerstrebenden Luft sehr rasch zunichte gemacht werde; damit kommt BURIDAN der Vorstellung von der Trägheit nahe. Klar und unmissverständlich führt er aus, dass einem Körper nicht nur die Wirkung der Gravitation zukomme, sondern mit dieser eben auch ein Impetus, der in seinem Ausmaß dem der Bewegung entspricht bzw. im Falle des freien Falls durch die (im Unterschied zur werfenden Hand) ständige Präsenz der Schwerewirkung gewissermaßen laufend akkumuliert würde, woraus die Beschleunigung resultiere. Daraus folge, dass je schneller ein Körper, desto größer auch der Impetus, und weiters, dass der freie Fall sich mit zunehmender Geschwindigkeit, d.h. beschleunigt, vollziehe.

BURIDAN postuliert auch einen kreisgerichteten Impetus für die Rotation, wie dies auch GALILEI noch tat. Auf dieser Grundlage sieht BURIDAN keine Notwendigkeit für einen unbewegten Beweger, da die kreisförmige Bewegung keinen ausgezeichneten Punkt aufweise, an dem der Körper zur Ruhe, ans Ziel gelange. Gott habe den Gestirnen bei der Erschaffung der Welt ihren Impetus ein für allemal mitgegeben – so habe er am siebenten Tag rasten (d.h. als unbewegter Beweger an diesem Tage nicht bewegend rasten) und sein Werk betrachten können. Von der Annahme eines Vakuums ist diesbezüglich nicht die Rede.

Für BURIDAN ist Bewegung immer noch das Resultat einer Krafteinwirkung im Verhältnis zum Widerstand, den das Medium, in dem die Bewegung stattfindet, leistet. Allerdings sagt er auch, dass im Falle des Fehlens einer gegenwirkenden Kraft bzw. eines hemmenden Mediums, d.h. im Vakuum, die Bewegung unverzögert wäre (d.h. wohl: für alle Zeit andauern würde). Da BURIDAN bei aller Kritik an ARISTOTELES – es gebe in der Natur eigentlich keine Art der Bewegung, die so recht den Vorstellungen des ARISTOTELES entspräche – letztlich doch immer noch der Auffassung des ARISTOTELES unterliegt, dass Bewegung im sublunaren Bereich einer ständigen Krafteinwirkung bedürfe (auch der Impetus ist letztlich eine solche; als Vergleich könnte etwa das elektrische Licht herangezogen werden, das in dem Augenblick erlischt, indem die Energiezufuhr aussetzt), vollzieht er den Schritt hin zu einer kräftefreien Bewegung bzw. zum Verharren in Bewegung **nicht**. Auch unternimmt er keine Bemühungen zu einer quantitativ mathematischen Behandlung der Frage, und so unterbleiben die sich anbietenden allgemeinen Konsequenzen aus seiner Vorstellung von Bewegung. Letztlich versuchte BURIDAN, die aristotelischen Vorstellungen soweit wie möglich den neu sich ergebenden Vorstellungen anzupassen.

Es gibt allerdings eine Stelle in BURIDANs Metaphysikkommentar, an der er sich der Vorstellung vom Prinzip der Erhaltung der Bewegung annähert:

„*Vos scitis quod multi ponunt, quod proiectum post exitum a proiciente movetur ab impetu dato a proiciente et movetur quamdiu durat impetus fortior quam resistentia; et in infinitum duraret impetus, nisi diminueretur et corrumperetur a resistente contrario vel ab inclinante ad contrarium motum.*“[66] Allerdings bezieht sich diese Stelle nach ANNELIESE MAIER nur auf die Bewegungen der Himmelskörper, nicht auf den irdischen Bereich.

Indem BURIDAN die Lehre vom Impetus vertreten und an seine Schüler, insbesondere an ALBERT VON SACHSEN und Marsilius von INGHEN weitergegeben hat, deren Werke in weiterer Folge eine weit größere Verbreitung fanden als seine eigenen, hat er die Festigung dieser Auffassung bis in die Zeit GALILEIs bewirkt. Die Frage, inwieweit BURIDAN nun ein Vorgänger GALILEIs oder des DESCARTES sei oder nicht, ist unterschiedlich beurteilt worden. ANNELIESE MAIER hat GALILEI als gedankliche Neuerung (ohne Bezug auf die historischen Gegebenheiten) nur die Übertragung der BURIDANschen Vorstellungen hinsichtlich der Bewegung der Himmelskörper auf die irdischen Verhältnisse zugestanden[67], da GALILEI im Falle der Darstellung seines Kugelexperiments im „Dialogo“ ausdrücklich feststellt, dass sich die Kugel auf der irdischen Ebene (wegen der Kugelgestalt der Erde) tatsächlich auf einer Kreisbahn bewege.

Zutreffen dürfte am ehesten aber wohl die Auffassung, dass BURIDAN eine selbständige Mittlerstellung zwischen dem Aristotelismus und der modernen Naturwissenschaft einnimmt und dabei dem Aristotelismus näher steht – BURIDAN ist letztlich noch immer ein klassischer Vertreter der scholastischen Naturphilosophie; auch wenn er sich verschiedentlich auf empirische Wahrnehmungen stützt[68], so stehen doch die dialektisch-logisch geleiteten Erörterungen im Zentrum.

Eine etwas abweichende Auffassung vom Impetus hat ORESME vertreten (s.w.u.). Er hat sich konkret auf die sehr wesentliche, weil die Trägheit betreffende, Wahrnehmung bezogen, dass sich ein einmal in Bewegung versetzter Wagen leichter schieben lasse als beim Anfahren, die man entweder als Täuschung abtat oder damit zu erklären gesucht, dass man argumentierte, die *vis motrix* wirke eben nicht sofort auf alle Teile eines ruhenden *mobile* ein und dass die *applicatio* der *vis motrix* erst allmählich erfolge, und sie als eine Folge der *inclinatio ad quietem*, also einem Beharren im Ruhezustand zu erklären gesucht. ALBERT VON SACHSEN hat in Fortführung dieser Überlegungen diesen Widerstand gegen die Bewegung als ein den Impetus zerstörendes Moment interpretiert: „*talis impetus corrumpitur per* [...] *inclinationem ipsius mobilis ad quietem*“[69].

Hinsichtlich der quantitativen Behandlung der Veränderung von Qualitäten sind in der Scholastik unterschiedliche Theorien entwickelt worden. Die zwei wichtigsten sind:

- die **Additionstheorie**, der zufolge eine Steigerung durch die Addition neuer Grade zu den bereits erreichten erfolge und
- die **Sukzessionstheorie**, der zufolge sich immer neue Werte (gewissermaßen von Null ausgehend) einstellen.

BURIDAN zieht in Hinblick auf Wärme als einer Eigenschaft, als einer permanenten Qualität die Additionstheorie heran, hinsichtlich des *motus localis* als eines selbständigen und von außen wirkenden Akzidens aber die Sukzessionstheorie, d.h. die einzelnen Momentangeschwindigkeiten stellen sich nacheinander und nicht durch Zuwachs aus der vorangegangenen ein[70].

In der Erörterung dieser Fragen kommt auch die Diskussion der Erschöpfbarkeit oder Unendlichkeit von Kraft auf. Man unterschied *vires fatigabiles*[71] (diese zuständig für die irdischen Bewegungen) und *vires infatigabiles* (tätig im Bereich der himmlischen Bewegungen).

---

66 Maier, Naturphilosophische Bedeutung der Impetustheorie 365.

67 Maier, Naturphilosophische Bedeutung der Impetustheorie 378f.

68 Solche empirischen Ansätze waren z.B. die Feststellung, dass man hinter einem fahrenden Schiff oder hinter einem Heuwagen keinen Luftstoß verspüre, der die Fahrzeuge vorantreibe, und dass die Töpferscheibe sich auch weiterdrehe, wenn man sie mit einem Tuch abdecke, d.h. von der angeblich treibenden Luft isolieren.

69 Maier, Naturphilosophische Bedeutung der Impetustheorie 367ff.

70 Dazu Maier, Ergebnisse 446ff. – bei GALILEI findet sich die Addierung.

71 Lat. fatigabilis = ermüdbar, erschöpfbar, hier im Sinne von „endlich“, d.h. irdisch.

Bezüglich der Erde diskutiert BURIDAN in den „Quaestiones de caelo et mundo“ gewissermaßen wissenschaftlich beide Möglichkeiten – die Erde in Ruhe und im Zentrum und die Erde in Rotation bei feststehender Fixsternsphäre, wobei gegen die zweite Auffassung kein evidentes Argument vorgebracht werden könne. Im Sinne von OCKHAMs „razor“ – dass man mit möglichst wenig Annahmen und der einfachsten Theorie operieren solle – wäre anzunehmen, dass die kleine Erde sich bewege und nicht die riesige Fixsternsphäre, die in ungeheurer Geschwindigkeit sich bewegen müsste. Gleichwohl entscheidet BURIDAN sich persönlich für die Annahme, dass die Erde ruhe, und führt dafür das alte Argument an, dass ein senkrecht hochgeworfener Stein andernfalls nicht an derselben Stelle herunterfallen würde. Erst seine Schüler ALBERT VON SACHSEN und Nikolaus von ORESME bringen als Argument ein, dass der hochgeworfene Körper am lateralen Impetus der Erdrotation teilhabe und deshalb „richtig“ herunterfalle. Nikolaus von ORESME erklärte allerdings, dass keine der beiden Annahmen wissenschaftlich erhärtbar sei und dass er sich aus Glaubensfragen dafür entscheide anzunehmen, dass die Erde stille stehe[72]. In diesem Zusammenhang gilt aber die Maxime, dass problematische Fragen gestellt und gewissermaßen „hypothetisch“ beantwortet werden dürfen – OCKHAM hat das auch dezidiert angesprochen und noch im Prozess gegen GALILEI ist das von erheblicher Bedeutung.

Bedeutsam ist wohl, dass BURIDAN eine prinzipielle Ähnlichkeit zwischen himmlischer und irdischer Mechanik annahm – eine Auffassung, mit der er nahezu allein stand und die ja auch bis in das 17. Jh nicht beweisbar war.

BURIDAN hat aber in Bezug auf die Erde die später auch von ALBERT VON SACHSEN vertretene Idee entwickelt, dass die Erde auf Grund des Ungleichgewichtes zwischen Kontinenten und Meeren gewissermaßen in sich selbst rotiere, indem sich ihr Schwerpunkt durch die Veränderungen an der Erdoberfläche ständig verlagere[73].

BURIDANs Arbeiten zählten in Krakau zu den Standardtexten der Studierenden, als Nikolaus KOPERNIKUS dort studierte. Seine Schüler haben seine Ideen aufgenommen, die aber sehr bald verformt und auch bald vergessen wurden. Auch GALILEI hat die Impetus-Theorie nur in verballhornter Form kennengelernt. BURIDANs Bedeutung liegt eher in den Fragen, die er angeschnitten und behandelt hat, denn in deren Lösung. Er hat aber zweifellos wesentlich zur mechanistischen Konzeption beigetragen, wie sie im 14. Jh sich anbahnt.

Auch in astronomischen Fragen hat sich BURIDAN in eher unkonventioneller Weise geäußert: er strebte nach einer Vereinfachung des [wissg-081-949::ptolemäischen Systems], stellte in der Frage der Präzession die Frage nach der Zuverlässigkeit der Angaben in den alten Sternkatalogen und meinte ganz offen, die 9. Sphäre des *primum mobile* könne real oder auch nur eine mathematische Annahme sein, wesentlich sei das Faktum der Bewegung.

BURIDAN diskutiert im Bereich der Mathematik um 1335 die Frage der Unendlichkeit, der unendlichen Teilung, der Realität eines geometrischen Punktes u.ä., was natürlich auch philosophische und theologische Implikationen hatte.

In der 2. Hälfte des 13. Jhs bilden sich Bereiche heraus, die jenseits der allgemeinen naturphilosophischen Erörterungen eine spezielle Pflege und Ausformung erfahren. Hierzu zählt insbesondere die Optik.

Neue Vorstellungen zu Kausalität und Wahrscheinlichkeit

Hinsichtlich des Eintretens von Ereignissen begann man im 13. Jh zu differenzieren und die aristotelische Auffassung zu relativieren. ARISTOTELES hatte geschlossen, dass wenn A, dann immer B (*ut semper*). Nun fügte man in Bezug auf die absolute *necessitas* hinzu die Möglichkeit eines *ut frequenter* (häufig) und eines *ut raro* (selten) – ein Mensch mit fünf Fingern ist kein *ut semper*, sondern ein *ut frequenter*, hat er aber sechs Finger, dann ist er ein Beispiel für *ut raro*; es wird also nicht mehr eine *necessitas* der

---

72 Das Argument der bloß hypothetischen Erörterung häretischer Ansichten spielt noch bei GALILEI eine wesentliche Rolle, s.w.u.

73 In diesem Zusammenhang sind auch diverse Spitzfindigkeiten entwickelt worden: man erkannte, dass die Fläche eines Grundstückes sich zum Erdmittelpunkt hin auf 0 verringere; da sich die Lote an den Grenzen nach unten hin annähern, sollten an Grundstücksgrenzen keine tiefen Brunnen gegraben werden dürfen, ohne dass der Querschnitt verringert würde, weil sie sonst den Nachbargrund tangieren würden. Ähnliches argumentierte man bezüglich höherer Türme auf einem Grund, sie sollten zueinander geneigt sein (beim Bau der Golden-Gate-Bridge ist die Änderung in der Distanz zwischen den Türmen tatsächlich berücksichtigt worden!).

Fünffingrigkeit angenommen! In modernem Sinne handelt es sich natürlich um Wahrscheinlichkeit bzw. um eine statistische Notwendigkeit.

Damit hängt auch die Frage der Erkenntnisgewissheit zusammen. BURIDAN vertritt bereits die Auffassung, dass wissenschaftliche Gewissheit eine graduelle Abstufung haben könne und dass es sinnlos wäre, mathematische Exaktheit für die scientiae naturales et morales fordern zu wollen, hier reiche eine hinreichend gesicherte Erfahrung aus, was heißt, dass die induktive Methode ausreiche. ORESME erweitert dies, indem er in „De proportionibus" zu ersten Ansätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung findet, wenn er Begriffe wie *verisimile*, *probabile* / *probabilius*, *improbabile* / *improbabilius*, *verisimile* / *verisimilius* / *maxime verisimile* und *possibile equaliter* heranzieht.

Nicole Oresme (ca 1320-1382)

ORESME war normanischer, vermutlich bäuerlicher Abstammung und ein Schüler des BURIDAN; er war wohl eine der intellektuell originellsten Erscheinungen des 14. Jhs überhaupt; er dürfte von Beginn an in Paris studiert haben, wo er sich zur Zeit der Krise um William von OCKHAM aufhielt und BURIDANs Vorlesungen hörte, dessen Einfluss auf ORESME unverkennbar ist[74]. ORESME hat zweifellos auch Heinrich von LANGENSTEIN persönlich gekannt. ORESME war 1342 bereits Magister der Artes, 1348 tritt er in das College de Navarre ein, 1355 oder 1356 wurde er Magister der Theologie und 1356 Großmeister des College de Navarre in Paris. Zeitweise fungierte er auch als Sekretär, Kaplan und Rat des Königs von Frankreich, möglicherweise auch Erzieher des Dauphins, offenbar hat er auf König KARL V. wesentlichen Einfluss genommen. Im Rahmen seiner geistlichen Laufbahn wurde er 1363 Kanoniker an der Saint-Chapelle in Paris, 1364-1377 war er Dekan an der Kathedrale von Rouen und zumindest in den Jahren bis 1372 wohl nur zeitweise in Paris. 1377 wurde er in Würdigung seiner Verdienste, nicht zuletzt hinsichtlich der ARISTOTELES-Übersetzungen[75], Bischof von Lisieux, wohin er allerdings erst 1380 gegangen ist. ORESME geißelte, wohl im Sinne des Königs, als Prediger in Avignon 1363 die Schwächen und Fehler des Papstes wie der Kardinäle, war ein entschiedener Gegner der Astrologie und – im Auftrag des Königs – ein wichtiger, auch ob seiner sprachlichen Qualitäten gerühmter Übersetzer lateinischer Texte (erst seiner eigenen frühen Werke, dann ab 1369 intensiv des ARISTOTELES) in das Französische, wobei er wesentliche Teile der französischen Terminologie im Bereich der Astronomie wie der Geographie schuf.

Wie BURIDAN hat sich auch ORESME an die Verbote der Thesen von 1277 gehalten.

ORESME sprach in einer seiner Schriften von „*messbaren Naturerscheinungen*", vom Wechsel des Ausmaßes der Erscheinungen (*latitudines formarum*), den man nicht hinreichend wahrnehmen bzw. „behandeln" könne, solange man nicht auf eine geometrische Betrachtungsweise in Gestalt von Figuren zurückgreife (*Quia formarum latitudines multipliciter variantur et multiplicitas difficillime discernitur nisi ad figuras geometricas consideratio referatur*). Wohl unter BURIDANs Einfluss vertrat er unter Zurückweisung des (stetig tätigen) unbewegten Bewegers des ARISTOTELES die Auffassung, der Himmel sei ein Mechanismus wie eine Uhr: Gott habe den Himmelskörpern bei ihrer Erschaffung spezielle Kräfte eingegeben, die ihre Bewegung verursachen, und diese könnten durchaus sich von den Gegebenheiten auf der Erde unterscheiden; die Himmelskörper bewegen sich, so heißt es in seiner letzten Schrift

– **Livre du ciel et du monde d'Aristote**,

auf Grund einer Kraft oder einer Qualität ihrer Substanz und weil keine anderen Kräfte und Widrigkeiten auf sie einwirken. Natürliche, d.h. bei ORESME: irdische, Kräfte seien, im Unterschied zu den Kräften, die im Himmel herrschen, quantitativ und damit zahlenmäßig fassbar. Es ist nicht eindeutig klar, was ORESME unter den im Himmel herrschenden Kräften verstand; auch hat er eine von BURIDAN abweichende Vorstellung vom Impetus entwickelt[76]. ORESME hat in dieser Arbeit auch die an sich alte kosmologische Frage, ob es mehrere Welten geben könne, aufgegriffen (es war dies die These 34 der 1277 verbotenen Sätze). Er stellt dies bezüglich fest, dass Gott in seiner Allmacht eine solche Vielfalt schaffen könnte und dass es kein Argument gebe, das Gegenteil zu beweisen; er schließt sich dann aber

---

74 Zu ORESME neuerdings Ulrich Taschow, Nicole Oresme und der Frühling der Moderne, 2 Bde Halle 2003, welches Werk sich wesentlich mit den musiktheoretischen Aspekten befasst, aber das heutige Bild von ORESME dominiert.

75 Ethik 1369/70, Politik und Ökonomie 1372-1374, De caelo et mundo 1377.

76 Bei BURIDAN ist der Impetus eine ständig wirkende Kraft, eine *res naturae permanens*; bei ORESME wirkt der Impetus nur „eine gewisse Zeit" lang.

doch der aristotelischen Auffassung von einem alles umfassenden Kosmos an. Interessant ist bei dieser Erörterung, dass ORESME die Welten als eine jeweils spezifische Gravitationseinheit mit jeweils einem eigenen Zentrum der Gravitation betrachtet; ein Modell, das von den irdischen Verhältnissen abgeleitet ist.

In seiner Arbeit

De proportionibus proportionum, d.h. die Verhältnisse des Verhältnis, das Rechnen mit Verhältnissen, entwickelt ORESME – von BRADWARDINE ausgehend – das Rechnen mit Verhältnissen und gelangt zur Erkenntnis, dass es irrationale Verhältnisse gibt, die in einem rationalen Verhältnis zu einem rationalen Verhältnis stehen[77]; ausgehend von der Vorstellung, dass es viel mehr irrationale Verhältnisse als rationale gebe, äußert er die Idee, dass die himmlischen Bewegungen sehr wahrscheinlich inkommensurabel seien,

De commensurabilitate sive incommensurabilitate motuum celi;

Der wohl interessanteste Inhalt von „De proportionibus" sind aber erste Ansätze zur Wahrscheinlichkeitsrechnung, wobei er Begriffe wie *verisimile*, *probabile* / *probabilius*, *improbabile* / *improbabilius*, *verisimile* / *verisimilius* / *maxime verisimile* und *possibile equaliter* benutzte.

Was die irdische Physik anlangt, so vertrat ORESME wie viele seiner Zeitgenossen die Auffassung, dass sich die Erde „in sich selbst" bewege, indem sich ihr Schwerpunkt unter dem Einfluss von Klima und Erosion, d.h. geologischen Einflüssen, ständig verlagere; dieser „wandernde" Schwerpunkt als Zentrum der irdischen Gravitation strebt seinerseits ständig nach dem kosmischen Zentrum der Gravitation, um mit diesem in eins zusammenzufallen. ORESME entwickelte auch die Vorstellung, dass sich Körper von sich aus im Raum ihrem spezifischen Gewicht nach verteilen, sodass die schweren zu unterst und die je leichteren immer je weiter „oben" sich lagern. Und das sollte überall im Kosmos so sein – Giordano BRUNO hat später dermaßen ähnlich argumentiert, dass man annehmen könnte, er hätte ORESMEs „Du Ciel" gelesen.

Auch die Frage der Rotation der Erde hat ORESME beschäftigt; in „Du Ciel", in seinen „**Questiones de celo**" und in seinen „**Questiones de spera**"[78] entwickelt er das Prinzip der Relativität von Bewegung – die Daten der astronomischen Tafelwerke und Interpretationen würden nicht in Frage gestellt, nähme man an, dass die Erde rotiere und nicht das Firmament; die Frage sei durch kein Argument entscheidbar, sondern nur in Glaubensüberzeugung. Im Weiteren widerlegt er die Argumente des ARISTOTELES gegen die Erdrotation und erörtert die aus der Bibel ableitbaren Argumente. In seiner Conclusio tritt er auch aus Gründen der „Ökonomie" für die Erdrotation ein.

Bezüglich der Bewegung einzelner (nicht natürlicher) Objekte auf der Erde nahm ORESME entgegen der vorherrschenden Auffassung an, dass die Geschwindigkeit im [wissg-07B-846::freien Fall] direkt proportional sei zur Zeit und nicht zur Fallhöhe – innerhalb gleicher Zeiteinheiten wächst die Geschwindigkeit in proportional gleichem Maße zu. Er folgte dabei der Argumentation BURIDANs von der Akkumulierung des Impetus. Er unternimmt das Gedankenexperiment eines Körpers, der in einem durch den Erdmittelpunkt führenden Schacht fällt und beschleunigt wird zum Erdmittelpunkt, dann aber weiterfliegt, bis der Impetus aufgezehrt ist, hierauf wieder zurückfällt und wieder über den Erdmittelpunkt hinausfliegt, bis ihn die Aufzehrung des zweiten Impetus zur Umkehr zwingt – und er auf diese Weise um den Erdmittelpunkt oszilliert.

Hinsichtlich des Impetus – *impetuosité* – vertrat ORESME im Unterschied zu BURIDAN die Auffassung, dass der Impetus seinem Charakter nach eine beschleunigende Kraft sein müsse – wie ORESME überhaupt irrig annahm, dass es nur beschleunigte Bewegung gebe, die sich im Laufe ihrer Wirkung am *mobile* abschwäche[79] – durch und dass der bewegte Körper erst nach einer gewissen Zeit nach der Trennung vom Werfer die maximale Geschwindigkeit erreiche (und nicht sofort eine Verlangsamung erfahre) – eine Auffassung, der noch BURIDAN entgegenhielt, dass er solches nicht habe beobachten können. Sie ist auch im Weiteren nicht verfolgt worden, während sich ORESMEs an DE MARCHIA anschließende Anschauung, dass der Impetus abnehmender Natur sei, weiterverfolgt worden ist. – ORESME hat hinsichtlich der Bewegungen, insbesondere im Kosmos, die später viel strapazierte

---

77 Als rational bezeichnet ORESME z.B. 13:9; als irrational bezeichnet er Verhältnisse, in denen gebrochene Exponenten auftreten.

78 Sic: *spera* nicht *sphaera*.

79 So ist das offenbar auch hinsichtlich der Himmelskörper gedacht, die sich auf diese Weise mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen.

Uhrwerksmetapher gebraucht: Es existierte zu ORESMEs Zeit in Paris die von KARL V. in Auftrag gegebene und von Henri de VICK gebaute Turmuhr am Justizpalast. ORESME ging es bei diesem Beispiel vermutlich um den der Uhrwerksbewegung zugrundeliegenden „Kraftspeicher" – die Gewichte[80] als „Träger" der *impetuosité* –, nicht um die Mechanik der Zahnräder etc., wobei noch zu beachten ist, dass frühe Uhren im 13. Jh Astrolabien als Zifferblätter hatten, womit die Uhr als Abbild des Kosmos wahrgenommen werden konnte. ORESME schreibt schließlich: „*Als Gott die Himmel erschaffen hat, hat er sie mit gerade soviel bewegender Qualität und Kraft ausgestattet, wie er Schwere und Widerstand gegen diese bewegenden Kräfte in die irdischen Dinge gelegt hat. Und diese Kräfte sind so sehr beherrscht, gedämpft und ausgeglichen durch die Widerstände, dass die Bewegungen ohne Heftigkeit ablaufen; und da keine Gewalt angewendet wird, ist es fast wie bei einer Uhr, die der Uhrmacher gemacht hat und die dann ablaufen und sich allein bewegen kann. So überließ Gott die Himmel ihrer stetigen Bewegung in Übereinstimmung mit der Proportionalität ihrer Bewegungskräfte zu ihren Widerständen und mit der geschaffenen Ordnung*".

Die vielleicht interessanteste Arbeit des ORESME ist sein

– **Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum**, auch als **Tractatus de uniformitate et difformitate intensionum** bezeichnet; dieses [wissg-07B-846::Werk] ist in den 1350er Jahren entstanden[81], als ORESME am College de Navarre war. In dieser Arbeit entwickelt ORESME eine völlig neue Sichtweise, indem er argumentiert: nach ARISTOTELES ist jeder Körper eine Kombination aus Stoff und Form – Form ist in etwa die Gesamtheit aller seiner Eigenschaften bzw. Qualitäten. Diese Qualitäten haben eine Ausdehnung (*extensio*) und eine Intensität (*intensio*) innerhalb des Körpers, an jedem Punkt des Körpers. In so ferne kann die Qualität des Körpers auch als Quantität dargestellt werden. ORESME entwickelt hierfür – lange vor DESCARTES – zweidimensionale Diagramme (*configuratio*) zur Darstellung hypothetischer gleichförmiger und ungleichförmiger Verteilungen von Intensitäten von Qualitäten (z.B. Geschwindigkeiten): die horizontale Linie (x-Achse) stellt das Subjekt in Bezug auf die Ausdehnung (*extensio*, *longitudo*) der Qualität (z.B. Zeit) dar, die Vertikale, die Ordinate (y-Achse) die Intensität (*latitudo*) – (die Werte bezeichnet er als *mensura* bzw. als *quantitas*)). Die resultierende Figur stellt die Veränderung von Intensitäten, z.B. von Wärme z.B. in der Zeit, dar (**DSB s.v. Oresme 227**). Das Gesamte ist auch eine „interne Konfiguration" des Subjekts – auf diese Weise werden Qualitäten quantitativ dargestellt und damit letztlich auch einer mathematischen Behandlung zugänglich gemacht. Die neuen Vorstellungen ORESMEs sind unter der Bezeichnung "**latitudines formarum**" bekannt geworden. ORESME gibt drei Arten der Verteilung der Quantität der Qualität an:
  – *uniformis*
  – *uniformiter difformis* = gleichförmigerweise ungleichförmig (mit stetigem *excessus graduum*)
    Dem fügt ORESME, nach HEYTESBURY und SWINESHEAD, den Satz der Merton-Regel hinzu: „*jede gleichförmigerweise ungleichförmige Qualität hat dieselbe Quantität, als wenn sie gleichförmig demselben Objekt zukommen würde mit dem Grade des mittleren Punktes*".
  – *difformiter difformis* = ungleichförmig (= beliebig) ungleichförmig[82],

Ist der Wert für die *latitudo* 0, so spricht ORESME von *non gradus*. ORESME spricht aus, dass die Geschwindigkeit der Veränderung einer *intensio* am obersten Punkt am langsamsten bzw. am steilsten Punkt der Kurve am höchsten ist. Den Raum zwischen zwei *latitudines* ausdrückenden Kurven bezeichnete ORESME mit *figura*. Vorbild für die Anwendung eines Koordinatenkreuzes waren wohl die in der Astronomie und in der Geographie längst üblichen Verfahren.

ORESME hat diese Betrachtungsweise auch auf Bewegungen angewendet, er hat aber nicht den freien Fall als gleichförmig beschleunigt angesprochen – dies hat erst Domingo DE SOTO 1555 getan; dessen Aussage GALILEI durch Experimente bestätigt hat. ORESME gelangt, wie vor ihm schon BRADWARDINE,

---

80 Eine brauchbare Pendeluhr konstruierte erst Christaan HUYGHENS.

81 Der lange ORESME zugeschriebene und mehrfach (1482, 1486, 1505, 1515) gedruckte „Tractatus de latitudinibus formarum" stammt von JOHANNES DE SANCTO MARTINO, stellt eine Kurzfassung von ORESMEs Tractatus dar und war lange Zeit die einzige Quelle hinsichtlich der Auffassungen des ORESME.

82 Zu diesen Sätzen trat noch die Merton-Regel, die besagte, dass jede gleichförmigerweise ungleichförmige Qualität dieselbe Quantität habe, als wenn sie gleichförmig demselben Objekt zukommen würde in jenem Grad, in dem sie dem mittleren Punkt des Körpers gegeben ist. S.o. William of HEYTESBURY.

zu keinem richtigen Ergebnis hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Kraft und Bewegung. Doch stellten auch seine Ansätze fruchtbare Neuerungen dar. Die verschiedentlich vertretene Auffassung, dass ORESME hinsichtlich der Auffassung und Behandlung von Bewegung eigentlich bereits GALILEIs Position erlangt habe, ist wohl mit großer Vorsicht aufzunehmen. Auch sind Vorstellungen, wie er sie offensichtlich in der ausgereiftesten Form entwickelt hat, auch bei anderen Autoren seiner Zeit zu finden, so z.B. bei SWINESHEAD.

ORESME hat auch versucht, die Krümmung von Kurven auf diese Weise zu beschreiben, und zwar auf zwei Arten:

- Abweichung von der Geraden durch Angabe des Abweichungswinkels
- als Bewegung eines Punktes auf einem sich drehenden Strahl – archimedische Spirale bei gleichförmiger Bewegung des Punktes. Steht der Punkt still, so entsteht ein Kreis etc.

ORESME stellt auch fest: **durch die Bewegung eines Punktes entsteht eine Linie, durch die Bewegung einer Linie eine Fläche, durch die einer Fläche ein Körper; aber durch die Bewegung eines Körpers entsteht wieder nur ein Körper, man benötige also keine 4. Dimension.**

In Verbindung mit „De proportionibus proportionum“ erkundet ORESME das Rechnen mit gebrochenen Exponenten, wofür er eine eigene Terminologie einführt; er rechnet nicht nur mit Wurzeln, sondern als Erster überhaupt auch mit gebrochenen Exponenten; insgesamt hat er 18 Regeln für das Rechnen mit Exponenten aufgestellt[83]. Er hat dies in einer eigenen Schrift näher ausgeführt:

- **Algorimus proportionum**,

Neben ARISTOTELES-Kommentaren verfasste ORESME auch die weitverbreiteten und später vielfach gedruckten

- "**Quaestiones super geometriam Euclidis**".

ORESMEs klare und rational-nüchterne Bewertung der Erscheinungen ist erkennbar in seiner Zurückweisung der Astrologie in seiner Schrift

- **Quaestio contra divinatores**, in der er die Auffassung vertritt, dass alle irdischen Vorgänge, auch scheinbare Wunder, von natürlichen und unmittelbaren Ursachen herrühren und nicht von himmlischen immateriellen Einflüssen; lediglich Unwissenheit verführe die Menschen dazu, Gott oder Dämonen dafür verantwortlich zu machen, es sei dies eine *disctructio philosophiae*; auch die Existenz von Dämonen verwarf er als überflüssig.

Überhaupt ist ORESME von Skepsis bestimmt, von Zweifel hinsichtlich der Erkenntnismöglichkeit; zweimal schreibt er seinen „Quodlibeta“, dass er außerhalb dessen, was er aus seinem christlichen Glauben heraus wisse, nur wisse, dass er nichts wisse.

Neben bzw. durchaus in Zusammenhang mit den bisher berührten Aspekten hat sich ORESME in seinem „Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum“ eingehend mit der **Musik** (Harmonielehre) befasst, die ja seit den Pythagoräern in engem Zusammenhang mit der Mathematik gesehen worden ist. Er hat in diesem Zusammenhang bahnbrechende Entdeckungen gemacht, die erst im 17. Jh und danach wieder aufgegriffen worden sind. Musik ist für ihn – im Unterschied zu der ewig unveränderlichen *musica mundana* der Antike, der Sphärenharmonie – die unendlich vielfältige Variierung von Verhältnissen auf der Grundlage einer begrenzten Anzahl von Verhältnissen und Parametern – ähnlich der modernen Chaostheorie; er verwendet in diesem Zusammenhang *machina musica*. Er hat diese Vorstellung auch anderweitig verwendet, z.B. in seinem

- **Tractatus de perfectionibus specierum**, wo er die Vielfalt der Möglichkeiten und die permanente Veränderung als ein Element geradezu evolutionärer, selbstorganisierender Perfektionierung interpretiert.

Damit in Zusammenhang sind auch ORESMEs Vorstellungen hinsichtlich einer Theorie der Wahrscheinlichkeit zu sehen, wenn er in

- **De Causis mirabilium**, der vielleicht einzigen mittelalterlichen Arbeit, die sich mit dem Problem der Wahrnehmung an sich befasst, feststellt, dass mit dem Ansteigen der Anzahl von unbewussten Wahrnehmungen die Wahrscheinlichkeit von Fehlurteilen und damit die Wahrscheinlichkeit des Irrtums in der Wahrnehmung steige.

---

[83] Näheres bei Cantor II, 134ff.

Wahrnehmung ist deshalb bei ORESME nichts anderes als ein wahrscheinlicher Wert zwischen den beiden obigen Aussagen, niemals eine objektive Angelegenheit, sondern stets ein komplexes Konstrukt ohne absolute Augenscheinlichkeit, Gültigkeit.

ORESME hat sich auch eingehend mit Fragen der **Psychologie** befasst, insbesondere mit dem Problem der Wahrnehmung – in seinem Skeptizismus hat er Sinneswahrnehmungen weitgehend in Frage gestellt. Aber auch hinsichtlich der z.T. wohl teleologisch-anachronistischen Bewertung dieser Arbeiten ist Vorsicht angebracht. In seiner Arbeit

– **De visione stellarum** erörtert er im Zusammenhang mit der sphärischen Refraktion die Frage, ob sich die Sterne überhaupt dort befänden, wo wir sie zu sehen vermeinen, und folgert, dass das von Sternen herrührende Licht in einem stetig dichter werdenden Medium einer Kurve folge (weil sich die Brechung ständig verändere) und wir deshalb kaum etwas am Himmel dort wahrnehmen, wo es sich wirklich befinde, dass somit die sinnlich-optische Wahrnehmung zweifelhafter Natur sei. Diese Entdeckung ist sowohl PTOLEMAIOS als auch AL-HAYTHAM entgangen und im Weiteren auch KEPLER; erst Robert HOOKE und NEWTON haben dies wieder richtig erfasst.

ORESME ist auch einer der ersten großen Autoren der politischen Ökonomie wie der Geldtheorie, zu der er sich in französischsprachigen Kommentaren zu den von ihm übersetzten Werken des ARISTOTELES und in seiner Schrift

– **De origine, natura, jure et mutationibus monetarum** (auch noch im 17. Jh gedruckt) geäußert hat, in welchen Arbeiten er ebenso wie in anderen Werken die französisch-terminologischen Grundlagen in diesen Bereichen gelegt hat.

Die intensive Diskussion der Kinematik bricht im 14. Jh ab, die Auffassung BURIDANs wird jedoch weiter tradiert, verlagert sich im Wesentlichen aber nach Italien. Der essentielle Unterschied zwischen der Impetustheorie und dem späteren Trägheitsprinzip besteht darin, dass Erstere ein aktives, Letztere ein passives Prinzip ist und dass die dem Impetus zugeordnete Kraft stets teleologischer Natur, final gerichtet ist. Klaus-Jürgen Grün[84] weist in diesem Zusammenhang auf die Bedeutung des Verbots von 1277 hin, das den katholischen Antiaverroismus absichert und für die nachfolgende Zeit zu einer dominierenden Richtung macht, wodurch die Vorstellung von der Unmittelbarkeit des Schöpfergottes – selbst in der Gestalt von Kraft – abgesichert wird. In so ferne kann von einer Kontinuität der Impetustheorie hinein in die Mechanik des 17. Jhs nicht gesprochen werden.

Obgleich sie die Werkzeuge dazu hergestellt haben, haben die Naturphilosophen des 14. Jhs nicht gemessen. ANNELIESE MAIER begründet dies aus der Vorstellung, dass Gott alles gemessen und gezählt habe – *omnia in mensura et numero et pondere disposuisti* – und man es als dem Menschen nicht zustehend empfunden habe, dem nachzugehen, zumal es auch kein natürliches, vorgegebenes Maß gegeben habe, sondern nur die willkürlich gesetzten Maße des Alltagslebens. Jedenfalls ist auch dieser essentielle Schritt unterblieben.

1.4 OPTIK UND ANDERE PHYSIKALISCHE BEREICHE

wurden in einer eigenartigen Gemengelage betrieben: alles was mit Licht, Schatten, Sehen, Farbe zu tun hatte, darunter auch astronomische, geologische, chemische Fragen, wie es ja auch in des ARISTOTELES Meteorologie der Fall war, die man nun seit dem Anfang des 13. Jhs kannte und kommentierte, möglicherweise hat auch die Kenntnis der Optik des PTOLEMAIOS seit der Mitte des 12. Jhs dazu beigetragen.

In der **Optik**[85] kannte man vor allem die Passagen aus der Enzyklopädie von PLINIUS D. Ä. und aus ISIDOR VON SEVILLA. Die erste brauchbare Arbeit, die im Bereich der Optik übersetzt wurde, stammte von HUNAIN IBN ISHAQ, die CONSTANTINUS AFRICANUS übersetzte und die dann irrig diesem oder GALEN zugeschrieben wurde. Im 12. Jh folgte dann eine Reihe weiterer Arbeiten, bis schließlich GERHARD VON CREMONA „De aspectibus“ von AL-KINDI übersetzte, worauf weitere Arbeiten folgten – EUKLID, PTOLEMAIOS und AL-HAYTHAM.

---

84 Grün, Unbewegter Beweger 197.

85 S. dazu David C. Lindberg, The Western reception of Arabic optics. In: EHAS II 716-727.

Der erste westliche Gelehrte, der EUKLID und AL-KINDI eingehend studierte, war ROBERTUS GROSSETESTE, der sich mit der Frage des Regenbogens und geometrisch-optischen Problemen befasste. ROGER BACON weitete seine Kenntnisse durch PTOLEMAIOS und AL-HAYTHAM aus, ohne aber mathematisch mithalten zu können; dennoch verhilft er der Intromissionstheorie AL-HAYTHAMs zum Durchbruch, nachdem zuvor eher die Extramission Anhänger gefunden hatte. Auf ROGER BACON folgten WITELO, John PECKHAM und DIETRICH VON FREIBERG, die bereits den Übergang hin zu KEPLER darstellen, der als eigentlicher Nachfolger AL-HAYTHAMs gelten kann.

Es ist wesentlich, dass im 13. Jh gewisse optische Errungenschaften auch in der Praxis umgesetzt werden: KONRAD VON WÜRZBURG rühmt in einer seiner Schriften die optischen Eigenschaften des Bergkristalls, und zu Ende des 13. Jhs werden in Italien die **Brillen**[86] **(***occhiali*, wichtig der Plural, der auf die Verwendung für beide Augen schließen lässt) erfunden und auch rasch routinemäßig hergestellt; die ersten Erwähnungen sind für 1285 und 1289 bekannt, als Erfinder werden im 14. Jh (1313 und 1317) Salvino degl' ARMATI und Alessandro della SPINA genannt. Vergrößerungs- und Brenngläser wurden allerdings viel früher schon erwähnt, z.B. in den Wolken des ARISTOPHANES und bei PLINIUS D. Ä. und bei SENECA; NERO soll einen geschliffenen Smaragd als Sehhilfe benützt haben. Doch waren dies kaum aktiv verfolgte Erkenntnisse, sondern nur praktische Kenntnisse.

Etwa gleichzeitig, möglicherweise sogar etwas früher, gibt es chinesische Nachrichten über Gläser, die alte Leute zum Lesen verwenden und die aus Zentralasien, nach anderen Quellen aus Malakka, gekommen seien. Unklar ist eine Stelle in der Manessischen Handschrift, wo das Wort Spiegel Vergrößerungsglas oder Brille bedeuten könnte.

Die Verbreitung der Brillen geschah langsam, weil sie wahrscheinlich teuer und noch in hohem Maße unzulänglich und damit für den dauernden Gebrauch wenig zufriedenstellend waren. Man beherrschte im Spätmittelalter die Herstellung besserer, blasenfreier Gläser noch nicht. Dennoch gibt es nicht wenige [wissg-07B-848::Abbildungen] von Benützern der *occhiali*. Erst im 16. und 17. Jh kommt es aber zur wirklichen Verbreitung im Sinne eines Marktes.

Die Aufwärtsentwicklung der Optik in Europa wurde ausgelöst durch die Verbreitung der Übersetzung der Werke des muslimischen Physikers AL-HAYTHAM (lat.: Alhazen) im 13. Jh, die als „Opticae thesaurus“ Verbreitung fand.

Witelo (1230/35-1275)

Die Namensscheibung WITELO ist den ebenfalls verwendeten Formen Vitellius, Vitellio entschieden vorzuziehen, da „Wito“ oder „Wido“ als thüringischer Name jener Zeit nachgewiesen ist. WITELO dürfte aus Schlesien, aus der Umgebung von Breslau, stammen; er bezeichnete sich selbst als von thüringischer und polnischer Herkunft. Seine Ausbildung dürfte er nach 1250 in Paris erhalten haben, in den 1260er Jahren studierte er in Padua Kirchenrecht – in dieser zeit verfasste er auch eines seiner Werke. 1268/1269 hält er sich in Viterbo auf, wo er mit MOERBEKE bekannt wird, dem er später seine „Perspetiva“ widmet. Möglicherweise trat er er dann in den Dienst OTTOKARs II. PRZEMYSL.

WITELO kannte – wie aus seinen Werken erschlossen wurde – Schriften von PLATON, GALEN. AVICENNA, ARISTOTELES, AVERROES, EUKLID, AL-HAYTHAM und auch die Katoprik des HERON VON ALEXANDREIA, deren Übersetzung MOERBEKE am 31. Dezember 1269 abgeschlossen hat[87] – weshalb WITELOs Perspectiva wohl erst nach diesem Zeitpunkt entstanden ist; danach wird auch WITELOs Tod frühestens in die Mitte der 1270er Jahre zu setzen sein.

Das Werk, das WITELOs Ruhm begründet und ihm eine bedeutende Stellung in der Entwicklung der Optik zwischen den muslimischen Optikern und KEPLER zuweist, ist seine

– **Perspectiva = Optik**, die nach 1270 entstanden sein muss und vor allem auf AL-HAYTHAM (= Alhazen) aufbaut, dessen Werk WITELO mitunter ausschreibt, auch wenn er diesen Namen nicht erwähnt. Ebenso ist evident, dass WITELO die Optiken des EUKLID, des HERON VON ALEXANDREIA und jene des PTOLEMAIOS sowie wie andere einschlägige Autoren gekannt hat, zu denen auch ROBERTUS GROSSETESTE und ROGER BACON zu zählen sind; möglicherweise hat WITELO auch John

[86] Das Wort Brille kommt wohl von Beryll, welcher Halbedelstein zuerst zu Vergrößerungszwecken herangezogen worden sein soll.

[87] Moerbeke schrieb das Werk allerdings irrig dem PTOLEMAIOS zu.

PECKHAMs „Perspectiva communis“ gekannt. WITELOs Werk ist sehr umfangreich und in zehn Bücher gegliedert:

- Buch I gibt Definitionen und Postulate sowie 137 geometrische Theoreme, die gewissermaßen das mathematische Fundament für alles weitere bilden,
- Buch II handelt von der Natur der Strahlung, der Ausbreitung von Licht und Farbe, von Lichtbrechung und Schatten sowie von Bildern durch winzige Löcher („Pinhole images“)
- Buch III befasst sich mit Physiologie, Psychologie und Geometrie des monokularen wie der binokularer Sehens,
- Buch IV handelt von weiteren Aspekten des Sehens und von optischen Täuschungen (hinsichtlich Distanz und Größe) – der Großteil des Ausführungen ist psychologischer Natur, der Rest traditionelle geometrische Perspektive,
- Buch V behandelt Sehen unter dem Aspekt der Reflexion von Licht einschließlich den Reflexionsgesetzen bis hin zur eingehenden Behandlung planer Spiegel,
- Buch VI handelt von sphärischen konvexen Spiegeln,
- Buch VII von konvexen zylindrischen und konischen,
- Buch VIII von konkaven sphärischen und
- Buch IX von konkaven zylindrischen, konischen und paraboloiden Spiegeln.
- Buch X behandelt die Lichtbrechung sowie das Phänomen des Regenbogens und anderer atmosphärischer Erscheinungen.

Der Frage nach der Natur des Lichtes geht WITELO weitgehend aus dem Weg, er bezeichnet es gelegentlich als einen Träger körperlicher Form, als erste aller wahrnehmbaren Formen, als Erscheinungsform eines allgemeineren Phänomens; WITELO dient es als Paradigma für die Erforschung aller natürlichen Phänomene, und die Optik ist ihm die grundlegende Naturwissenschaft schlechthin. Licht pflanzt sich für WITELO stets geradlinig fort – dies könne man auch experimentell nachweisen, und er beschreibt das von AL-HAYTHAM benützte Gerät; selbst dürfte er das Experiment nicht angestellt haben. Im Übrigen dürfte er in physikalischen Fragen ROGER BACONS Auffassung nahegestanden haben – so vertritt er die Ansicht, dass die Geschwindigkeit des Lichts vom Medium abhängt. Das Licht geht von den Objekten aus und tritt in das Auge des Sehenden ein (und nicht umgekehrt). Der Akt des Sehens vollzieht sich für ihn in der Linse, wo Licht und das Organ der Seele aufeinandertreffen, von dort geht es über den Sehnerv in das Gehirn, wo die beiden Sehnerven sich im Sitz des Sehens im „*ultimum sentiens*“ vereinigen.

Die Probleme der Katoptrik, d.h. der Optik der Spiegel, nehmen einen wesentlichen Teil des Werkes ein (in der gedruckten Edition etwa 200 von insgesamt 500 Seiten); es ist dies der bedeutendste Teil des Werkes, er war bis in das 17. Jh unübertroffen.

Der Einfluss WITELOs ist schwer von dem AL-HAYTHAMs zu unterscheiden, insbesondere nachdem 1572 beider Werke in einem Band gedruckt worden sind. Zweifellos zählt die Optik des WITELO neben AL-HAYTHAM und John PECKHAMs „Perspectiva communis“ (s.w.u.) zu den Standardwerken der Optik bis in das 17. Jh und hat alle bis dahin in diesem Bereich Arbeitenden maßgeblich beeinflusst. Sie war ein wichtiges Bindeglied zwischen der griechischen, der arabischen und der neuen Optik; als KEPLER 1604 seine Optik herausbrachte, betitelte er sie „Ad Vitellionem paralipomena“, also nur als „Ergänzung“ des Werkes des WITELO.

WITELO selbst erwähnt in seinen Werken weitere Schriften, doch ist von diesen keine mehr nachweisbar.

John Peckham (1230/35–1292)

PECKHAM[88], auch „Pecham“, hat zweifellos seinen Ordensbruder ROGER BACON gut gekannt, obgleich sich kein Nachweis für irgendwelche nähere Verbindungen findet. PECKHAM stand in der eher den Neuerungen des Aristotelismus abholden franziskanischen Tradition. Unter PECKHAMs zahlreichen Werken sind nur jene zur Optik von weiterführender Bedeutung.

[88] Franziskaner aus Sussex, Theologe, Mathematiker und Physiker, ausgebildet in Paris und in Oxford (möglicherweise innerhalb des Ordens), 1250 zu theologischen Studien nach Paris gesandt, wo er Schüler CAVALIERIS wird und THOMAS VON AQUIN trifft, 1269 Doktorat der Theologie, 1271/72 Rückkehr nach Oxford, Provinzial, 1277 zu Vorlesungen nach Rom berufen, 1279 wird er Erzbischof von Canterbury, als welcher er Reformen einleitet, aber auch gegen „gefährliche Philosophien“ vorgeht.

- **Tractatus de perspectiva**, dieses Werk wurde vermutlich zwischen 1269 und 1275 für die Lehre bei den Franziskanern verfasst und ist stark durchsetzt mit Bibelzitaten, Zitaten vor allem aus Augustinus und hat so einen stark theologischen Charakter, inhaltlich überlappt sich die Arbeit stark mit der Perspectiva communis, die eine weitere Verbreitung gefunden hat
- **Perspectiva communis**, dies ist eine weniger „theologisierte" und nicht durchwegs inhaltsgleiche Fassung des Tractatus de perspectiva; auf diese Arbeit gründet sich PECKHAMs wissenschaftliches Ansehen. Das in weiterer Folge weit verbreitete Werk ist in drei Bücher gegliedert, deren
  - erstes von der Ausbreitung von Licht und Farbe, vom Auge, von der Physiologie und Psychologie des Sehens bis hin zu optischen Täuschungen handelt; Peckham vertritt zwar entschieden die Auffassung, dass das Licht von den Objekten ausgehe, nicht von den Augen, meint aber – nicht zuletzt wohl, um auf diese Weise eine Aussöhnung zwischen den unterschiedlichen Auffassungen, wie des ARISTOTELES, des AL-KINDI, aber auch des ROBERTUS GROSSETESTE, zu bewirken –, dass es auch Sehstrahlen des Auges gebe, die das hereinkommende Licht „dämpfen und der Sehkraft anpassen". Zentrale optische Bedeutung misst PECKHAM nur dem vom Objekt aus senkrecht auf die Linse auftreffenden Lichtstrahl zu, der durch das Auge weitergeleitet, durch die Sehnerven in den „zentralen Nerv" als dem Ort der inneren Beurteilung des Eindruckes geleitet wird. Alles andere sei vernachlässigbar.
  - das zweite Buch handelt von der Reflexion und gibt eine sorgfältige und eingehende Analyse der Entstehung der Bilder auf ihrer Grundlage, obgleich er noch nicht über eine mathematische Möglichkeit der Behandlung des Themas verfügt,
  - das dritte Buch befasst sich eingehend mit der Refraktion, dem Regenbogen (auch hier versucht er zu einer harmonisierenden Lösung zu gelangen) und der Milchstraße.

  Das Werk beruht wesentlich auf AL-HAYTHAM, wobei PECKHAM praktisch die ganze Fülle der optischen Literatur kennt. Es hat eine enorme Wirkung entfaltet, die allgemeinen optischen Kenntnisse langehin mitbestimmt und dementsprechend eine weite Verbreitung erfahren, sodass es in einer Fülle von Manuskripten überliefert ist und noch zwischen 1482 und 1665 nicht weniger als zwölf Druckausgaben erlebt hat sowie eine Übersetzung in das Italienische. Dementsprechend ist es auch praktisch von allen nachfolgenden Wissenschaftlern dieses Bereiches zitiert worden.
- **Theorica planetarum**
- **Tratctatus de sphera**, stand in Konkurrenz zu des SACROBOSCOs De sphaera,
- **Tractatus de de numeris**, auch **Arithmetica mystica** gibt eine Klassifizierung der Zahlen, wobei neben der „normalen" Bedeutung den Zahlen auch eine spirituelle Qualität zugeschrieben und eine reiche Zahlenmystik entfaltet wird.

PECKHAM sind auch andere Schriften zugeschrieben worden (u.a. ein Tractatus de animalibus), doch sind diese Zuordnungen wohl nicht haltbar.

Roger Bacon (1214-1292)

S.o. ROGER BACON war neben WITELO und PECKHAM der bedeutendste Optiker des Spätmittelalters; in diesem Zusammenhang sind zwei seinerArbeiten hervorzuheben:

- **De speculis comburentibus. De mirabili potestate arti et naturae**
- **Opus maius 5. Buch: über Optik**

ROGER BACON hatte auf diesem Gebiet bessere Kenntnisse der Araber als ROBERTUS GROSSETESTE, griff auf AL-KINDI und vor allem auf AL-HAYTHAM zurück und hat sich vor allem experimentell unter beträchtlichem Kostenaufwand hauptsächlich mit Spiegeln und Linsen, ja mit Linsenkombinationen beschäftigt (und ist so der Erfindung des Mikroskops möglicherweise nahegekommen) – er sandte sogar dem Papst eine Linse, damit dieser selbst experimentieren könne. Er beschäftigte sich auch mit der Natur des Lichtes, das er nicht als Emanation von Partikeln, sondern als Fortpflanzung von Wirkung (*multiplicatio specierum*) anspricht. Er hatte Kenntnis von der sphärischen Aberration und ihrer Korrektur durch paraboloide und hyperboloide Flächen. ROGER BACON ist als Optiker weit weniger populär geworden als WITELO und PECKHAM, hat aber nachweislich den Engländer Leonard DIGGES[89] im 16. Jh beeinflusst.

[89] 1520-1559, er erstellte Kalender und Prognostiken und wurde verschiedentlich mit der Entwicklung des Fernrohrs in Verbindung gebracht.

Pierre de Maricourt (um 1270)
Auch unter dem Namen PETRUS PEREGRINUS bekannt, war ein Franzose aus Maricourt in der Picardie und wohl einer der Lehrer ROGER BACONs, der ihn in mehreren seiner Werke als den größten experimentellen Wissenschaftler seiner Zeit, hervorragenden Mathematiker, Alchemisten und Techniker bezeichnet hat; beschäftigte sich mit Spiegeln und Magnetismus: sein 1269 anlässlich der Belagerung von Lucera 1269 geschriebener Brief

– "**Epistola ad Sygerum de Foucaucort militem de magnete**" ist eines der hervorragendsten Zeugnisse experimenteller Forschung im Mittelalter: er zerfällt in einen theoretischen und einen auf die Anwendung Bezug nehmenden Teil:
  * Der längere theoretische Teil gliedert sich in 10 Kapitel: 1 Absicht des Briefes, 2 Erklärung der experimentellen Methode, 3 wie erkennt man Magneteisenstein, 4 zwei Methoden zur Bestimmung der Pole, 5 wie man den Nordpol vom Südpol unterscheidet, 6 wie ein Magnet den anderen anzieht, 7 wie man ein Stück Eisen durch Reiben am Magneten magnetisiert, 8 wie ein Magnet Eisen anzieht, 9 wie eine Art Magnetpol die andere anzieht, 10 von der Natur der magnetischen Kraft (virtu Dei oder nutu Dei), Konstruktion einer magnetischen Scheibe die gemeinsam mit dem Firmament bewegt werden soll – die erste vage Vorstellung eines Erdmagnetismus. Es wird festgestellt, dass Magnetismus durch Wasser, Glas etc. hindurch wirkt.
  * Der angewandte Teil beschreibt drei Instrumente: 1 Bestimmung des Azimuts von Sternen – eine Art tragbarer Kompass mit schwimmender Nadel und 360 Grad-Kreis und Sonnenuhr, 2 ein besseres Instrument gleicher Art mit der metallgelagerten Nadel unter Glas und einer Alhidade mit zwei Absehen, 3 Versuch eines Perpetuum mobile mit Hilfe von Magneten.

Dietrich von Freiberg (1240/45 – nach 1311)
DIETRICH VON FREIBERG, auch Theoderich von Freiberg; dieser Dominikaner und Mystiker schrieb auf der Grundlage von Experimenten z.B. mit mit Wasser gefüllten kugelförmigen Glasgefäßen eine Arbeit mit der bis dahin besten und ersten zufriedenstellenden Erklärung des Regenbogens – **De iride radialibus impressionibus**.

Ähnliche Arbeiten gehen in Persien vor sich. Die Optik dieser Zeit fällt auf durch ihre übernationale Geschlossenheit – ganz Europa und im Osten, alle von AL-HAYTHAM beeinflusst.

1.5 TECHNIK, INGENIEURSWESEN

Villard de Honnecourt (fl. 1230/1240)
Villard de HONNECOURT war Architekt und Baumeister, vor allem in St. Quentin. Er hinterließ ein 66 Seiten starkes [wissg-07B-849::Album] mit Zeichnungen, die ihn als einen Vorläufer LEONARDO DA VINCIs ausweisen und sehr interessante Dinge enthalten: Konstruktionen von Maschinen (z.B. eine unter Wasser einsetzbare mechanische Säge), Zimmerei, praktische Geometrie, Kriegsmaschinen etc. – der gesamte Codex, der zeitweise als Bauhüttenbuch bezeichnet wurde, eher aber als ein Skizzenbuch einzuschätzen ist, ist im Internet einsehbar: [http://classes.bnf.fr/villard/feuillet/::classes.bnf.fr].

Um 1270 wurde des ARCHIMEDES Arbeit über schwimmende Körper ins Lateinische übersetzt, und zwar aus dem mittlerweile verlorenen griechischen Text.

Zur selben Zeit wird in China der große Kanal, 500 Meilen lang, gegraben und erstmals Papiergeld gedruckt. HULAGU Khan soll bei seiner Eroberung Persiens und des Irak an die 1000 chinesische und auch persische Ingenieure beschäftigt haben – und diese Leute konstruierten ballistische Maschinen, Katapulte.

1.6 „CHEMIE“ – ALCHEMIE UND CHEMISCHE TECHNOLOGIE

Die alchemistische Tradition ist – auf noch nicht sehr eingehenden Wegen – im Zuge der Rezipierung ausschließlich aus dem muslimischen Bereich in den lateinischen Westen eingeflossen und hat hier

ähnlich breit Fuß gefasst wie sie zuvor im muslimischen Bereich vertreten war.[90] Es wurden zahlreiche Traktate übersetzt und verfasst, fast jeder Autor fühlte sich versucht, etwas zu diesem Thema zu schreiben. Viele Traktate sind nicht korrekt zuschreibbar, Vieles ausgelöst durch die Meteorologie des ARISTOTELES und deren Bearbeitung durch AVICENNA, von dem AVICENNA (der ein erklärter Gegner der Alchemie war) zugeschriebenen Werken, vor allem aber durch die Sammlungen hellenistisch-spätgriechischer alchemistischer Texte (Corpus hermeticum), die auch im christlichen Bereich aufgegriffen wurden und dann später im Neuplatonismus der Renaissance wieder Verbreitung gefunden haben.

Die Übersetzungen einschlägiger Werke befruchteten lediglich die alchemistischen Interessen, so etwa als ALFRED SARESHEL die Mineralogie des AVICENNA übersetzte, bewirkte dies in Zusammenhang mit der „Meteorologie“ des ARISTOTELES die Entstehung einer Reihe von alchemistische Traktaten, die unter den Namen von z.B. MICHAEL SCOTUS, JOHN OF GARLAND[91] und RICHARD OF WENDOVER laufen, aber nicht durchwegs von diesen stammen müssen. VINZENZ VON BEAUVAIS glaubte in gewisser Hinsicht an die Transmutation, war beeinflusst durch „De aluminibus et salibus“ des AL-RAZI in der Übersetzung durch GERHARD VON CREMONA. ALBERTUS MAGNUS hatte konkretere Kenntnisse, ihm wird die Entdeckung des Elementes Arsen zugeschrieben und er erklärte im allerdings ihm nicht sicher zuschreibbaren **Libellus de alchimia**, dass transmutiertes Gold sich von natürlichem Gold unterscheide. Ihm wird aber auch ein radikaler Traktat "Semita recta" zugeschrieben, in dem die essentielle Einheit der Materie behauptet wird, die unterschiedlichen Erscheinungsformen (wie etwa in verschiedenen Metallen) seien zufällig und Transmutation sei möglich. ALBERTUS MAGNUS hat aber auch in „De mineralibus“ verschiedene chemische Substanzen wie Vitreol, Alaun, Arsen beschrieben.

Ramon LULL soll 80 alchemistische Traktate verfasst haben, wahrscheinlich sind alle unterschoben, ein Teil dürfte von Raimundo DE TARREGA in Katalonien verfasst sein, einem vom Judentum konvertierten Dominikaner mit okkulter Prägung. In gesicherten Arbeiten lehnte LULL die Transmutation als unmöglich ab und bezeichnete die Alchemie als Betrug. ROGER BACON hat sich vorsichtig verhalten, zwischen „guter“ und „schlechter“ Chemie unterschieden und sich gegen die Einheit der Materie gestellt.

Das bedeutendste und einflussreichste Werk aber ist wohl die

– **Summa perfectionis magisterii**, die lange IBN HAYYAN zugeschrieben wurde, dem sie seiner Bedeutung halber unterschoben worden war. Tatsächlich dürfte dieses Werk, das SARTON als das erste Monument lateinischer Chemie und Ahne der modernen Chemie bezeichnet und dessen letztlich arabischer Ursprung als gegeben gesehen wird, von dem italienischen Franziskaner PAULUS DE TARANATO stammen, der stark von IBN HAYYAN und AL-RAZI beeinflusst war und eine Alchemie auf der Grundlage des Quecksilbers entwickelte, das er als die Grundlage aller Metalle und des Steines der Weisen wie der Transmutation zu Gold ansieht. Es handelt sich nicht um einen fortlaufenden Text, sondern um eher – vermutlich bewusst – verwirrend angeordnete Ausführungen zu alchemistischen Verfahren und Arbeitstechniken wie der Destillation, der Sublimation, der Entwässerung sowie von Reinigungsverfahren für Gold; breiten Raum nimmt die Darstellung Ethanol (d.h. „Weingeist“) im Wege der Destillation ein: sie zerfällt in 2 Bücher, die wieder unterteilt sind; die einzelnen Kapitel enthalten a) körperliche und geistige Hindernisse und Erfordernisse für chemische Praxis, b) Argumente gegen die Alchemie und ihre Widerlegung, c) natürliche Eigenschaften metallischer Körper, Metalle bestehen aus Schwefel und Quecksilber, es gibt 6 Metalle: Gold, Silber, Magneteisenstein, Zinn, Kupfer und Eisen, ihre Definitionen, d) Methoden wie Sublimation, Ausfällen, Destillation, Verkalkung, Lösung, Verbindung, Fixieren, "Verwächsern", e) Natur der verschiedenen Substanzen, f) Zubereitung der Substanzen in Hinblick auf ihre Transmutierung zu medizinischen Zwecken oder Elixieren, Medizinen haben drei Arten der Wirksamkeit, g) Methoden der Analyse, um festzustellen, ob die Transmutation funktioniert hat oder nicht: Einäschern, Verkitten, Verbrennen, Verdampfen, Beimengen von brennendem Schwefel etc.. Die „Summa perfectionis magisterii“ ist 1545 und 1598 gedruckt worden, als man auch im Berg- und Hüttenwesen sich dafür interessierte.

---

90 Zu dieser Thematik s. Robert Halleux, The reception of Arabic alchemy in the West. In: EHAS III 886-902.

91 Unter seinem Namen lief – fälschlich, irrig dann aber auch AL-RAZI zugeordnet – ein über Spanien importierter alchemistischer Traktat, der als „De mineralibus liber“ noch 1560 in Basel gedruckt worden ist.

Neben der „Summa perfectionis magisterii“ gibt es eine Reihe ähnlicher Werke, die einigermaßen Verbreitung fanden. Es handelt sich dabei um Vermengungen von verfahrenstechnischer Anleitung und experimentellen Erfahrungen mit phantastischen esoterischen Inhalten. Insgesamt unterscheidet sich der Bereich der Alchemie/Chemie damals noch grundlegend von der durch rationale Verfahren bestimmten, bereits auf einer wissenschaftlichen Grundlage stehenden Auseinandersetzung mit anderen Bereichen der Naturwissenschaft. Erst im 16. Jh beginnt sich Chemie in unserem Sinne von der Alchemie abzusetzen (u.a. durch PARACELSUS, 1493/94-1541), und erst Robert BOYLE (1627-1691) gilt als Begründer der Chemie im wissenschaftlichen Sinne[92].

Chemische Probleme wurden im Spätmittelalter naheliegender Weise z.T. auch in den Arbeiten zur „*materia medica*“ behandelt. Hier sind die Beiträge des HUGO BORGOGNONI (= Hugo von Lucca, ca 1160-1257), dem Gründer der Chirurgenschule in Bologna, und seines Sohnes TEODORICO BORGOGNONI, zu erwähnen, die nachweislich Arsen sublimierten:

De sublimatione arsenici, de aluminibus[93] et salibus – diese Schrift ist allerdings verloren,
TEODORICO BORGOGNONI und sein Sohn experimentierten mit verschiedenen Substanzen, hauptsächlich wohl mit Quecksilber. Es wird auch über die "Spongia soporifera"[94] gehandelt, mit Opium und anderen narkotischen Substanzen imprägnierte Schwämme, die zu Narkosezwecken verwendet wurden – ein Verfahren, das bereits im Corpus hippocraticum beschrieben wird, wohl seit dem 9. Jh wieder in Verwendung stand und um dessen Verbesserung man sich vielleicht bemühte.

Schwarzpulver

Es ist nicht zu sagen, wo und wann genau das Pulver = Schwarzpulver[95] aus Salpeter, Schwefel und Holzkohle, erfunden wurde, wahrscheinlich in der lateinischen Welt oder in Syrien, China ist nicht belegt[96], wenn die Chinesen auch Salpeter gekannt haben mögen. Die Erfindung hing ab von der Isolierung und Reinigung von Potasche-Natron, also dem geeigneten Salpeter – Schwefel und Holzkohle waren seit urdenklichen Zeiten bekannt. Auch eine Salpeter-Industrie gab es bereits in der Antike und im 9. Jh in Basrah[97].

In Byzanz kannte man bereits 671 eine schwefel- und salpeterhältige Mischung, die auch auf dem Wasser brannte, das „griechische Feuer“. Für China ist ähnliches für das 11. Jh nachweisbar. 1285 beschreibt ein arabischer Autor die Herstellung von Schwarzpulver einschließlich der unabdingbar erforderlichen Reinigung des Salpeters. Weniger detaillierte Hinweise finden sich bei ROGER BACON.

Die Anwendung im militärischen Bereich – in der Form von „Raketen“ – fällt jedoch erst in die 1.H. d. 14. Jhs. Es war das keine große Revolution, da die ersten Feuerwaffen sehr ineffizient und den ausgefeilten Waffen älterer Technik, wie etwa der Armbrust, unterlegen waren, wenngleich ihre psychologische Wirkung groß war. Langer Prozess der Verbesserung, Serie von kleinen Revolutionen, wie so vieles andere auch bei näherer Betrachtung. Das Schwarzpulver wird erst im 19. Jh durch andere Explosivstoffe verdrängt.

MARCUS DER GRIECHE, 2.H. 13. Jh, beschreibt in seinem

– **Liber ignium ad comburendos hostes** viele pyrotechnische Rezepte von älteren griechischen, arabischen Autoren, darunter das Griechische Feuer (das als eine Art Flammenwerfer einsetzbar war), phosphoreszierende Substanzen und – in zwei Textvarianten – das Schießpulver; das Rezept lautet: nimm 1 Pfund Schwefel, 2 Pfund Holzkohle von der Linde oder von der Weide, 6 Pfund Salpeter; pulverisiere die Substanzen sehr fein auf einer Marmorplatte und mische sie. Das Buch wurde

---

92 Es ist in diesem Zusammenhang an das enorme Problem der Gewichte und Maße zu erinnern, das hauptsächlich in der Pharmazie für die *Materia medica* relevant war – die ungeheure Fülle von Einheiten war praktisch bis in das 18. Jh hinein unüberschaubar und erschwerte die Vergleichbarkeit von Messungen bis in die zweite Hälfte des 19. Jhs.

93 Alumen = Alaun; damit bezeichnete man früher das kristallisierte wasserhaltige schwefelsaure Doppelsalz von Kalium und Aluminium (Kaliumaluminiumsulfat), da schon im Altertum als Mittel zur Feuerhemmung bei Holz, als Desodorant, zur Blutstillung und dann auch für die Tucherzeugung verwendet wurde; in der Frühen Neuzeit war die Herstellung in Europa ein mediceisch-päpstliches Monopol.

94 Das lat. Adjektiv *soporifer* bedeutet „schlafbringend“.

95 Diese Bezeichnung dürfte wohl eher auf das Aussehen als auf den Mönch Berthold Schwarz in Freiburg im 14. Jh zurückzuführen sein.

96 . Die Nachricht, sie hätten 1232 bereits Geschütze verwendet, beruht auf einem philologischen Mißverständnis.

97 . Unser Wort Salpeter ist sehr ungenau, es bedeutet nämlich Pottasche-Natron, Chilesalpeter und den Saliter.

möglicherweise ursprünglich auf Griechisch geschrieben, dann ins Arabische übersetzt und von diesem ins Lateinische.

Glas, Farben
Glas wird nun nicht nur für Gefäße, sondern auch für Fenster verwendet. Zentrum der Herstellung wie des Handels wird Venedig mit Murano; es muss dies Auswirkungen auf Chemie gehabt haben, doch wurden die Produktionsverfahren wohl als Geschäftsgeheimnisse bewahrt, so dass nichts Näheres überliefert ist.

Ähnlich bei den Farben: in dieser Zeit werden im Westen wie im Osten herrliche neue Farben verwendet, es gibt jedoch keine spezielle Literatur, die dazu Stellung nimmt.

1.7 GEOGRAPHIE

1.7.1 Allgemeines

Die Ausweitung des abendländischen Horizonts begann mit der Entdeckung Islands um 850, dann – um 1000 – Grönlands, von wo aus die Wikinger bald darauf Kanada erreicht haben (Vinland), das sie bis in das 14. Jh immer wieder besucht haben – doch ist diese Entdeckung darüber hinaus bedeutungslos geblieben.

Im Hochmittelalter befasste man sich mit geographischen Fragen, die durch Sagen und Legenden vorbereitet worden waren: welches ist die Lage des Garten Edens, des Paradieses, wo lebten die Amazonen, die Kopffüßer etc. Eine echte Ausweitung der geographischen Vorstellungen des Abendlandes brachten die Kreuzzüge, die vor allem die Kenntnis über den Orient förderten. Von einer Geographie in wissenschaftlichem Sinne, die sich ja aus verschiedenen, ursprünglich mit unterschiedlichen Disziplinen verknüpften Bereichen zusammensetzt und erst im 19. Jh so eigentlich zu einem Fach fügt, kann aber natürlich noch nicht gesprochen werden.

1.7.2 Landesbeschreibungen

GERVASIUS VON CANTERBURY verfasste eine Beschreibung Englands nach Grafschaften "Mappa mundi", GERVASIUS VON TILBURY schuf für OTTO IV die „Otia imperialia“, eine Sammlung geographischer Anekdoten, mitunter skurrilen Inhalts, die aber doch auch einige interessante Details enthalten, z.B. über die Salamanderhaut (das ist Asbest), enthält auch eine Topographie Roms. Auch BRUDER BARTHOLOMAEUS (im Rahmen einer Enzyklopädie) und SAXO GRAMMATICUS in seinen „Gesta Danorum“ (die eine lose Abfolge von Biographien sind) sowie die "Konungs skuggsja" in Norwegen (Autor unbekannt) geben geographische Details, überhaupt sind diverse Reisen von Skandinaviern in Sagas überliefert, z.B. die Saga vom Isländer RAFN SVEINBJÖRGSSON (1170-1213) und die Reise des Norwegers OGMUND VON SPANHEIM, der über das Weiße Meer, Russland, Schwarzes Meer nach Palästina und von dort über das Mittelmeer nach Norwegen zurück reiste, u.ä.

Neben diesen Quellen gibt es zahlreiche Pilger-Reiseberichte, z.T. mit guten Beschreibungen Palästinas – am besten BURCHARD VOM BERG ZION (Ende des 13. Jhs), aber auch Berichte über Geschäftsreisen von Venezianern und Genuesen. Auch der Versuch, im Osten Verbündete gegen die Muslime zu finden, motivierte zu Reisen in den Osten. Mit Ausnahme RUYSBROEKs waren alle Reisenden Italiener.

1.7.3 Die Anfänge der Kartographie

Johannes von Würzburg (fl. 1160/70)
JOHANNES VON WÜRZBURGs „Descriptio terrae sanctae“ stellt den Beginn einer sehr fruchtbaren Landesbeschreibungstradition dar. Gegen Ende des Hochmittelalters entstanden die **Rundkarten** = [wissg-079-734::Mönchskarten], deren Mittelpunkt Jerusalem war, die später durch die **Kompasskarten** = [wissg-07B-850::Portolanen] abgelöst wurden, die der Navigation dienten und daher anfangs ausschließlich die Küstengebiete darstellten.

Die 2. H. 13. Jh bringt ein Goldenes Zeitalter der Geographie: Es gewinnen die **Portolanen** an kaum zu überschätzender Bedeutung, sie entstanden vermutlich im Mittelmeer, wahrscheinlich in Byzanz oder in Katalanien, da ihnen anfangs offenbar die katalanische Meile zugrundeliegt. Ihre Sprache war Latein oder ein romanisches Gemisch. Die meisten Karten wurden von Italienern, Pisanern, Genuesen hergestellt[98], sie zeigten – offenbar schon vor der Verwendung des Kompasses – die Windrose. Sie waren gleichsam die Antwort der Praktiker auf die Mönchskarten und die ptolemäischen Karten der Geographen am grünen Tisch. Die Beobachtungen der Praktiker aber waren rein empirisch und nicht astronomisch abgesichert (war im Mittelmeer wohl auch nicht notwendig). So mussten die Portolanen auch in den nachfolgenden Epochen immer wieder verbessert werden. Durch sie aber ist die empirische Beobachtung in die Kartographie eingeführt worden. Auch die Araber hatten ähnliche Karten, doch sind uns keine frühen Beispiele überliefert, sondern nur indirekte Nachrichten.

Da die Portolanen als Karten der Seeleute nur die Küsten, nicht aber das Hinterland, zeigen, waren sie für die Festlandsgeographie mitunter nur bedingt wertvoll, deshalb wurde auch die Tradition der **Mönchskarten** fortgesetzt, von denen drei in der Form der Radkarten hervorzuheben sind:

- die [wissg-079-739::Psalter-Karte] im British-Museum, eine winzige Karte (8,5 cm Durchmesser, aber 145 Eintragungen)
- die [wissg-07B-851::Hereford-Karte], auf großem Pergament (162 x 132 cm), ca 1280, in der Kathedrale von Hereford
- die [wissg-079-738::Ebstorf-Karte], die größte Karte (358 x 356 cm), aus dem Kloster Ebstorf zwischen Hannover und Lüneburg, um 1280, heute im niedersächsischen Museum in Hannover.

Matthew von Paris (1220-1259)

MATTHEW VON PARIS, ein englischer Benediktiner ursprünglich in St. Albans, hat als Chronist seine Werke illustriert und in diesem Zusammenhang eine Reihe interessanter Karten geschaffen, die in der Tradition des PTOLEMAIOS standen, aber nur eine geringe geographische Präzision aufwiesen. Auch ROGER BACON hat eine Weltkarte als Illustration zu seinem „Opus maius“ gezeichnet und dem Papst geschickt, sie ist verloren. Wir wissen aber, dass er auf hervorragenden Grundlagen gearbeitet hat, z.B. hat er RUYSBROEKs Bericht verwendet, er glaubte, dass man China erreichen könne, wenn man westwärts segle (was KOLUMBUS indirekt bekannt wurde), und dass die Südhalbkugel bewohnbar sei.

1.7.3.1 DIE FRÜHEN REISEN NACH ZENTRALASIEN UND IN DEN FERNEN OSTEN

Relativ früh wurde auch das südlichere transuralische Zentralasien bekannt, indem man mit den Nachfolgern des DSCHINGIS Khan in Kontakt trat. 1246 gelangte die erste päpstliche Gesandtschaft nach Karakorum – der damaligen Residenz. Alle diese Missionen waren politisch erfolglos, sie eröffneten aber ein neues geographisches Zeitalter und ein neues Verständnis der Oikumene des PTOLEMAIOS.

Sehr bedeutend sind die Reisen päpstlicher Beauftragter zu den Mongolenherrschern nach Zentralasien, die motiviert waren durch die permanenten Fehlschläge der Kreuzzüge und die Sehnsucht nach dem Priesterkönig Johannes:

Es ist möglich, dass es 1244 bereits eine Mission eines LAURENTIUS VON PORTUGAL gegeben hat (1245 nachträglich beschlossen am Konzil von Lyon), wahrscheinlich aber nicht.

Die erste gesicherte Mission stand unter der Leitung des italienischen Franziskaners

Giovanni del Pian del Carpine (1182-1252)

der im Auftrag INNOZENZ IV. reiste; Giovanni del Pian DEL CARPINE verließ 1245 Lyon und drang über Russland bis Karakorum vor und kehrte 1247 mit einem Antwortschreiben des Großkhans zurück, das auf Persisch und Uigurisch abgefasst und mit einem von einem Russen geschnittenen Siegel beglaubigt war, es ist erst 1920 im Vatikanischen Archiv entdeckt worden. Er wurde ab Breslau von einem polnischen Dolmetscher namens BENEDIKT begleitet und legte seinen Bericht unter dem Titel

- „**Historia Mongolorum quos nos Tartaros appellamus**“ = „**Liber Tartarorum**“, einer unpersönlichen, klaren, rein am Faktischen orientierten Darstellung, vor, die neben des RUYSBROEK

[98] Die erste Nachricht von der Verwendung einer Karte an Bord eines Schiffes stammt aus einem bericht über die Fahrt LUDWIGs d. Hl. nach Afrika, dem der Kapitän – als der König Angst hatte – auf der Karte die Position des Schiffes zeigte. Das war 1270.

Darstellung die bedeutendste vor MARCO POLO ist. – Auch BENEDIKT hat einen, kürzeren, Bericht geliefert.

Die zweite Mission stand unter der Leitung des Dominikaners ASCELINUS oder ANSELMUS aus der Lombardei, der 1247 mit drei weiteren Dominikanern aufbrach, offenbar aber nur bis zu den mongolischen Vorposten in Kars, Armenien, gelangt sein dürfte, wo sie sich die Geistlichen offenbar sehr arrogant benahmen und dementsprechend behandelt wurden; sie kehrten 1250 zurück, ihr Bericht ist im Verhältnis zu dem des Giovanni del Pian DEL CARPINE nur mäßig interessant.

Eine weitere Mission führte

Andreas von Longjumeau

durch, der schon ASCELINUS ein Stück begleitet hatte und 1248 im Auftrag LUDWIGs d. Hl. von Zypern aus über die Kaspisee nach Choresm, Talas (dort trafen sie auf deutsche Gefangene) und Chimkent reiste, bis er das Hauptquartier des KUYUK Khan am Imil erreichte. Andreas von LONGJUMEAU kehrte 1251 mit einem etwas phantastischen Bericht zurück (u.a. berichtet er über Tendenzen der Mongolen, zum Christentum überzutreten) zurück.

Wilhelm Ruysbroek (1215 – ca. 1270)

Wilhelm RUYSBROEK wurde 1253 von LUDWIG d.Hl. inoffiziell entsandt[99], reiste über Byzanz zu Schiff auf die Krim nach Karakorum und kehrte 1255 zurück, sein Bericht

– **Itinerarium ad partes orientales** ist noch wertvoller als der von DEL CARPINE, aber weniger gut verfasst. Er beschreibt als erster das Kaspische Meer als Binnensee, gibt die exakte Lage des Baikal-Sees an, beschreibt die asiatischen Depressionen, beschreibt den Mongolenhof, Karakorum, die Nestorianer in China, den Lamaismus, die Sitten des Uiguren, erwähnt als erster Europäer Korea und andere nordasiatische Völker, beschreibt die wilden Esel in Zentralasien, die großen Argali-Schafe im Pamir, den Gebrauch des Halsbands für die Jagdfalken, beschreibt die Krim-Goten und unterscheidet zwischen Tartaren und Mongolen, beschreibt chinesische, Tangut-, uigurische und tibetanische Schriftstücke.

1253 ist RUYSBROEK dort (eigentliches Ziel war der Priesterkönig Johannes, der bei OTTO VON FREISING erstmals genannt wird und nicht mit dem von den Portugiesen in Abbessinien angesiedelten Erzpriester Johannes zu verwechseln ist), der die erste eingehende und zutreffende Schilderung des zentralasiatischen Raumes gibt, die die Grundlage für ROGER BACON, VINZENZ VON BEAUVAIS u.a. ist; am Mongolenhof befinden sich damals bereits zahlreiche Europäer, meist Abenteurer.

Marco Polo (um 1254 -1324)

Der berühmteste Reisebericht ist wohl der des MARCO POLO. Allerdings ist es nicht unumstritten, ob MARCO POLO tatsächlich in China gewesen sei und sich nicht nur auf Berichte anderer stützte; nach einer Phase der Negierung wird heute mehrheitlich davon ausgegangen, dass er tatsächlich in China gewesen sei. Als Gegenargumente werden u.a. ins Treffen geführt, dass er weder die Mauer, noch die chinesischen Schriftzeichen, noch die Lilienfüße, den Buchdruck etc. beschreibt; vor allem aber findet sich in keiner chinesischen Quelle ein Hinweis auf ihn; dem wird wiederum entgegengehalten, dass die Mauer in der prägnanten Form erst später entstanden und MARCO POLOs Name im Chinesischen unbekannt sei etc.

Die aus dem Bericht ableitbare Version der Reise lautet: MARCO POLOs Onkel MAFFEO POLO hatte Handelsunternehmungen in Konstantinopel und auf der Krim aufgebaut, von wo aus die jüngeren Brüder den Handel in die mongolischen Gebiete auszuweiten trachteten; sie erreichten den Hof KUBLAI Khans, der sie seinerseits als Gesandte an den Papst zurücksandte. 1271 kehrten NICCOLO POLO und MAFFEO POLO in Begleitung des jungen MARCO POLO zu KUBLAI Khan zurück, den sie 1275 erreichten. 1292 kehrten sie heim, größtenteils zur See über Java und Sumatra; sie benötigten 18 Monate bis Ormuzd am Eingang des Persischen Golfs, von wo sie über Trapezunt, Konstantinopel nach Venedig zurückkehrten, wo sie 1295 ankamen. MARCO POLO diktierte seinen Bericht, als er als Gefangener nach einer Seeschlacht zwischen Venedig und Genua eingekerkert war, einem Mitgefangenen, der ihn auf Französisch niederschrieb.

[99]. Weil sein Vorgänger LONGJUMEAU von der Frau des Mongolenherrschers beleidigt worden war.

MARCO POLO berichtet von den vier Schriften, die unter den Mongolen benutzt wurden: Uigurisch, Tibetisch, Arabisch und Chinesisch; gibt als Erster eine einigermaßen zutreffende Beschreibung von China, Siam, Burma, Laos, Java, Sumatra, den Nicobaren und Andamanen, Abesssinien, Sansibar, Madagaskar, Indien, Beluchistan und Teilen Russlands.

Seine Berichte fördern wieder die Idee, nach dem Westen zu segeln; an der Sorbonne denkt man schon im 13. Jh daran, eine Lehrkanzel für Mongolisch zu errichten. Im 14. Jh gibt es einen bereits einigermaßen geregelten Überlandverkehr zwischen Europa und Peking ("Seidenstraße") bzw. anderen ostasiatischen Gebieten.

Giovanni da Montecorvino (1247-1328)

Giovanni da MONTECORVINO aus der Umgebung von Salerno, Franziskaner, nahm 1272 an den Reunionsverhandlungen Papst GREGORS X. mit MICHAEL PALÄOLOGOS teil, ging dann als päpstlicher Gesandter zu den Ilkhanen nach Persien, kehrte 1289 zurück, ging neuerlich ab, um KUBLAI Khan aufzusuchen, in Täbris traf er Italiener, mit denen er sich nach Madras, Indien, einschiffte, wo er 1293 die erste katholische Missionsstation in Indien gründete, wenn man vom Apostel Thomas absieht, der ja auch schon dort gewesen sein soll. Er ging dann zur See weiter nach Cathay, wo er von 1292 bis 1303 allein missioniert, bis ein Kölner zu ihm stößt. Dann nach Cambaluc = Peking, wo er Vertrauter des Großkhans wird und Nestorianer bekehrt, Kirchen baut und die Psalmen und das Neue Testament ins Mongolische übersetzt, wird erster Erzbischof von Peking (mit 7 Suffraganen!), und fordert brieflich Nachschub an Missionaren aus Europa an (Briefe liefen über Sarai an der Wolga oder über die Dominikaner in Täbris), wird von „Äthiopiern“ aufgesucht, die ihn in ihre Heimat zur Mission einladen. Er ist vermutlich in Peking gestorben.

MONTECORVINO verfasste exzellente Berichte in Briefform, vor allem über die Koromandel-Küste, die er am besten kannte. Beschreibt Klima, Geographie, Monsun, Produkte wie Zimt und andere Gewürze etc., Hinduismus, Hindu-Sitten, erkennt die Größe des Subkontinents.

Neben den Genannten gab es noch eine große Anzahl weiterer Reisender. Damit wurden Teile Asiens bekannter und geläufiger und die Idee, man müsste doch um Afrika herumsegeln können, auf dem Seeweg nach Indien und China gelangen können, gewann mehr und mehr an Gewicht und es wurde auch eine Reihe kleinerer Aufklärungsfahrten unternommen.

Um 1350 entdeckten italienische Seefahrer die **Kanaren** und die **Azoren** (Letztere wieder).

Die Entdeckungen des 15. und 16. Jhs schließlich (Bartolomeo DIAZ, KOLUMBUS, Amerigo VESPUCCI, Martin FROBISHER, William BAFFIN, Henry HUDSON etc.) führten endgültig dazu, dass alte Theorien – verbrannte Erde, kochendes Wasser – aufgegeben werden mussten.

In der Folge stellte die Suche nach dem vermuteten Südkontinent eine der Hauptfragen dar, denn man war überzeugt, dass der Großteil der Erdoberfläche Land sei – dafür hat es auch astrologische Spekulationen gegeben: die Landfläche stehe in einer bestimmten Korrelation zur Zahl der Fixsterne etc. (ursprünglich hatte man ja auch angenommen, dass der Südhimmel viel weniger Sterne zeigen würde). Die Suche nach dem Südkontinent (der das Gegenstück zur europäisch-asiatischen Landmasse und Nordamerika darstellen sollte) motivierte zu den Reisen von Abel Janszoon TASMAN und von James COOK, die gleichsam zu den letzten klassischen Entdeckungsreisenden zählen.

In Asien hat KUBLAI Khan durch die Chinesen vor allem die Erforschung Zentral- und Südostasiens systematisch vorangetrieben – selbst MARCO POLO soll bis Tibet gelangt sein.

Bar Sauma († 1293)

BAR SAUMA, ein Nestorianer, war der erste Chinese, der nachweislich nach Europa gelangt ist, und zwar als Chef einer Gesandtschaft des Ilkhans ARGHUN (dieser hatte eine Christin zur Frau und ließ einen Sohn taufen) an Papst HONORIUS IV., der allerdings knapp vor seiner Ankunft verstarb, ging dann nach Genua, Paris, wo er die Universität mit angeblich 30.000 Studenten besuchte, wurde vom König von Frankreich und dem von England in der Gasconne empfangen, kehrte dann über Genua nach Rom zurück, wo ihn der neue Papst NIKOLAUS IV. empfing. Kehrte 1288 nach Bagdad zurück. Schrieb ein in syrischer Übersetzung erhaltenes Tagebuch.

1.8 „NATURGESCHICHTE“

1.8.1 Allgemeines – Übersetzungen

Im lateinischen Bereich ist eine weitere Fülle von griechischen Texten aus dem Arabischen übersetzt worden:

ALFRED SARESHEL übersetzte „De plantis“ des "Nikolaos von Damaskus" recte ARISTOTELES. Die drei zoologischen Arbeiten des ARISTOTELES wurden durch MICHAEL SCOTUS in Toledo übersetzt, vermutlich vor 1220 noch. 1232 hat MICHAEL SCOTUS Kaiser FRIEDRICH II. seine Übersetzung von AVICENNAS Zusammenfassung der Zoologie des ARISTOTELES dediziert. So musste die Zoologie des ARISTOTELES spätestens um die Jahrhundertmitte den wesentlichen Leuten bekannt gewesen sein.

Die Übersetzung des alchemistischen Teils der Mineralogie des AVICENNA durch ALFRED SARESHEL um 1200 brachte wichtige geologische Aussagen, z.B. zur Gebirgsbildung.

Bartholomaeus Anglicus (–)

– **De proprietatibus rerum** war eines der meist verbreiteten naturgeschichtlichen Bücher des MA, 5 von den 19 Büchern des BARTHOLOMAEUS ANGLICUS handeln von den drei Reichen der Natur. Mit einer Fülle von Beschreibungen, allerdings mit einer Fülle von Unsinn vermischt.

Arnold von Sachsen (–)

– **De finibus rerum naturalium** von ARNOLD VON SACHSEN war speziell hinsichtlich der Mineralogie geschätzt,

Thomas von Cantimpre (1186/1210–1276/1294)

– **De natura rerum** von THOMAS VON CANTIMPRE enthielt 6 zoologische, 3 botanische, 2 mineralogische Bücher und ein anthropologisches. Enthält Sektionsbeschreibungen am Menschen.

Unter den landessprachlichen Autoren sind die skandinavischen am wichtigsten,

Henrik Harpestraeng († 1244)

Henrik HARPESTRAENG schrieb zur Mineralogie und zur Botanik,

in der **Konungs skuggsja** (= „Königsspiegel“), bald nach 1250 verfasst, dem bedeutendsten literarischen Werk Norwegens im Mittelalter mit enzyklopädischen Abschnitten, werden zum ersten Mal Walross, Seehunde und Wale in der arktischen Region beschrieben.

Eine der besten Leistungen verdanken wir

Kaiser Friedrich II. (1194 – 1250)

– **De arte venandi cum avibus**, 1248 von FRIEDRICH II. fertiggestellt, war teilweise islamischen Schriften verpflichtet[100], beruhte aber durchwegs auf eigenen Beobachtungen und Experimenten und brachte eine Reihe neuer anatomischer Fakten: die Luftkammern in den Vogelknochen, Vogelzug, Mechanik des Vogelflugs. FRIEDRICHS zoologisches Interesse war nicht auf Falken oder Vögel beschränkt, er hielt sich große Menagerien in Unteritalien, zog mit exotischen Tieren über die Alpen – die erste Giraffe in Europa, ein ganzer Zirkus unter kaiserlicher Leitung. Es gibt daneben natürlich noch eine Reihe von Abhandlungen zur Falkenjagd von anderen Autoren.

Die Araber haben sowohl im Westen als Osten vor allem zu **Botanik** beigetragen, teilweise mit exakten Malereien zur Darstellung der Pflanzen. Vor allem der Mediziner IBN AL-BAYTAR.

[100] . Die Auszüge aus arabischen Autoren hat ihm sein Arabisch-Sekretär THEODOR VON ANTIOCHEA übersetzt bzw. angefertigt. THEODOR hat auch mathematische Interessen gehabt und für FRIEDRICH diverse Fragen an FIBONACCI gerichtet und mit Judah ben Salomon HA-KOHEN korrespondiert.

Chinesen beschäftigen sich mit Pilzen, Grillen (züchteten Grillen nach Gesangsleistung, veranstalteten Grillenkämpfe etc.) und anderen Insekten, entdeckten die Metamorphose der Zikade, Seidenraupe.

In der 2.H. 13. Jh gab es aber weiterhin keine eigentlichen Naturhistoriker. Naturhistorisches findet sich aber in einer Fülle verschiedener Schriften, Enzyklopädien etc. und natürlich auch in den Berichten der Asienreisenden.

1.8.2 Geologie

ist die Wissenschaft von der Geschichte der Erde[101,] ihrer Tier- und Pflanzenwelt unter Berücksichtigung des Materials des Aufbaus und der die Entwicklung der Erde bestimmenden Kräfte.

Die Frage nach der Gestalt, Struktur und dem Inneren der Erde hat die Menschen sehr früh bewegt. Verschiedene Beobachtung legten auch den Gedanken an Veränderungen nahe – wenn etwa ein chinesischer Philosoph um 1200 Muschelfossilien auf einem Berg entdeckt und daraus schließt, "*daß Tiefes zu Höherem, Weiches zu hartem Gestein geworden ist*".

Während für PLINIUS d.Ä. in seiner „Naturalis historia“ die Gebirge die Funktion haben, die Adern und Eingeweide der Erde fester miteinander zu verbinden und um die zügellosen Massen des Wassers in Schranken zu halten, hat AVICENNA einen inneren Luftraum, unterirdische Winde postuliert und damit die ersten Mutmaßungen über die endogenen Kräfte angestellt.

Albertus Magnus (1193-1280)
ALBERTUS MAGNUS war ein wirklicher Naturbeobachter und Naturhistoriker, er besuchte Laboratorien und Bergwerke, beschäftigte sich mit der Erosion und der Gestalt der Berge, beobachtete den Seegang, vulkanische Vorgänge, beachtete die Fossilien auf Bergen. Im Bereich der Botanik zeigt er Ansätze zu einer Pflanzengeographie, notiert sich die Gestalten der Samen, in der Zoologie schließt er sich zwar sehr an ARISTOTELES und AVICENNA an, wird dann aber gegen Ende eigenständiger, weist die Existenz zahlreicher Fabeltiere, wie sie in mittelalterlichen Handschriften herumgeistern, zurück.

Ristoro d'Arezzo (–)
Ristoro D'AREZZO hat 1281 in seiner Schrift

- "**Art und Weise der Entstehung und Zerstörung der Berge**"[102] die Veränderungen in den Flussbetten oft hochwasserführender Flüsse wie am Sandstrand des Meeres als Modelle für die Gebirgsbildung aufgefasst und recht treffend so die Erscheinungen der Erosion und der Ablagerungsformen beschrieben, wobei er sich teilweise eng an AVICENNA anlehnt.

Eine der faszinierendsten Theorien über das Aufsteigen und Absinken von Gebirgen bzw. Landmassen hat im 14. Jh auf logisch-mathematisch-geometrischer Grundlage der uns aus der Geschichte der Mathematik bekannte ALBERT VON SACHSEN, 1325-1390, der erste Rektor der Universität Wien, gegeben, der sich in seinem noch zu erwähnenden Werk "De latitudinibus formarum" eingehend mit dem Problem der Schwerkraft resp. der Schwerpunktlehre beschäftigt hat. In Zusammenhang damit vertrat er folgende Ansicht: infolge der ungleichen Landverteilung müsse der Schwerpunkt der Erde exzentrisch sein, zumal ja die Flüsse ständig Material der vorwiegend festländischen Erdhälfte (Amerika war ja noch nicht entdeckt) in das Meer transportieren und damit ein Absinken des Meeresbodens durch diese Belastung bewirken, während gleichzeitig die entlasteten Kontinente langsam emporsteigen. Ja, mehr noch: der Schwerpunkt der Erde durchwandert die Kugel und damit gelangt Erdinneres gleichsam quer durch die Erdkugel wieder an die Oberfläche. ALBERT VON SACHSEN hat damit die Frage des erst viel später diskutierten isostatischen Gleichgewichts angeschnitten und überhaupt eine sehr umfassende Theorie unter Einbeziehung endogener wie exogener Kräfte erstellt.

LEONARDO DA VINCI hat diese Vorstellungen von ALBERT VON SACHSEN übernommen.

---

[101] . Das Wort ist erstmals von Mickel Pederson ESCHOLT in "Geologia Norwegica" 1657 verwendet worden.

[102] . Er hat dabei allerdings auch die phantastische Vorstellung, dass die irdischen Erscheinungen Abbilder resp. Projektionen himmlischer, siderischer Formen seien. Denkt auch an die Entstehung von Bergen durch Sonnenstrahlen.

1.8.3 Botanik

Die beste Übersicht über die botanischen Kenntnisse dieser Zeit gibt

Simon von Genua
SIMON VON GENUA, der als Übersetzer tätig war und in seinem

– „**Clavis sanitatis**“, ein immenses Wörterbuch der Materia medica vorlegte, das allerdings nicht spezifisch botanisch interessiert ist. Typus des Hortus sanitatis, Entwicklung hin zu den Kräuterbüchern der Frühen Neuzeit.

Eine Gruppe von Autoren beschäftigt sich unter enzyklopädischen Aspekten mit der **Landwirtschaft**, auch VINZENZ VON BEAUVAIS und ALBERTUS MAGNUS, vor allem aber WALTER OF HENLEY und PETER VON CRESZENZA.

In China entsteht durch CHEN CHING-I eine große botanische Enzyklopädie, deren erste Hälfte den Blumen gewidmet ist, während die zweite von Früchten, Pflanzen, Bäumen und Landwirtschaft handelt. In Japan schreibt ein Veterinär ein Werk über Pflanzen, die zur Heilung von Pferdekrankheiten benützt werden.

Im christlichen Mittelalter waren es vor allem HILDEGARD VON BINGEN und ALBERTUS MAGNUS, die sich mit der Botanik zu beschäftigen begannen.

Hildegard von Bingen (1098 – 1179)
HILDEGARD VON BINGEN, deutsche Benediktinerin und Mystikerin, befasste sich mit Fragen der Biologie und der Medizin, auch der Mineralogie. Sie kannte – obgleich sie das Lateinische nicht beherrschte – die Schriften GALENs und den DIOSCURIDES und verfasste den

– **Liber simplicis medicinae secundum creationem** – Buch der einfachen Heilmittel nach dem Schöpfungsbericht geordnet, in welchem sie ein Buch je "De plantis" und "De arboribus" schrieb. Anders als in der Mineralogie verlässt sich HILDEGARD VON BINGEN in der Botanik ganz auf ihre eigenen Erfahrungen und Beobachtungen. Sie schildert etwa 300 Arten – von den Bäumen bis zu den Pilzen – und gibt für sie die deutschen Namen an, was philologisch sehr bedeutsam ist. Ihr Interesse ist praktisch ausschließlich von der Nützlichkeit der Pflanzen für den Menschen geleitet.

Weite Teile ihrer Schriften in Bezug auf die Natur sind allerdings skurril-abstrusen Inhalts und heute Gegenstand esoterischer Bewegungen.

Albertus Magnus

– **De vegetabilibus libri septem** sind größtenteils Kompilation aus antiken Autoren, nur ein Teil, den er "**digressiones**" = Abschweifungen, Exkurse nannte, beruht auf eigenen Beobachtungen. ALBERTUS MAGNUS erkannte die verschiedenen Arten von Dornen (Sprossdornen aus der Tiefe im Gegensatz zu den Stacheln der Rose), er deutete die Jahresringe, erkannte, dass beim Wein jeweils eine Traube einem Blatt gegenübersteht und manchmal an Stelle einer Traube eine Ranke sich findet, "*weil die Ranke sozusagen nur eine unterentwickelte Traube ist*". Er hat aber auch die großen Fragen in den Digressiones diskutiert, über die sich PLATON und ARISTOTELES uneinig waren: ob die Pflanze lebe – *an planta vivat*?, ob ihr folglich eine Seele zukomme, ob ihr Gefühl und Verlangen eigen seien, ob sie schlafe, welches Geschlecht sie hätte und welches die Natur des Pflanzenlebens überhaupt sei etc.

1.8.4 Mineralogie

Die Mineralogie beschäftigt sich mit den Mineralien als den chemisch und physikalisch einheitlichen, homogenen, nicht an lebende Wesen gebundenen oder von Menschenhand geschaffenen Bestandteilen der Erdkruste, der Meteoriten und anderen Himmelskörper. Manche neuere Definitionen fügen die organischen Produkte hinzu – z.B. Erdöl. Dies ist natürlich eine moderne Definition, für deren Erstellung die Chemie notwendig war.

Die erste Zusammenfassung zum Thema Mineralien hat der ARISTOTELES-Schüler THEOPHRAST 372-287 erstellt. PLINIUS D. Ä. hat sich in seiner „Naturalis historia“ THEOPHRAST angeschlossen.

Im Mittelalter sind vor allem die magischen Bereiche tradiert worden, dann kamen die arabischen Kenntnisse hinzu. AVICENNA, 937-1048, hat eine bis in die Neuzeit verwendete Systematik der zu seiner Zeit bekannten Mineralien erstellt, die ALBERTUS MAGNUS, 1193-1280, in seinem Werk **De mineralibus libri quinque** um 1260 in das abendländische Wissensgut übernommen hat. Groß ist die Zahl der Lapidarien = Steinbücher des Mittelalters.

Vollkommen abstruse Feststellungen zur Mineralogie hat HILDEGARD VON BINGEN geliefert; im Liber quartus ihrer Subtilitates diversarum naturarum creaturarum handelt sie von den Edelsteinen – für jeden werden seine Entstehungsweise und seine Heilwirkung etc. angegeben, z.B.: "*Der Beryll ist warm und entsteht jeweils zwischen der dritten Stunde des Tages und der Mittagszeit aus dem Schaum des Wasser, wenn die Sonne es kräftig durchglüht*" etc.etc., der Stein heile Vergiftungen, bewahre vor Streitsucht etc.

Am Übergang zur Neuzeit hat PARACELSUS (eigentlich Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541)) das kompilatorische Wissen des Spätmittelalters durch Beobachtungen zu ergänzen gesucht.

Der Hauptanstoß zur Beschäftigung mit den Mineralien kam aber natürlich vom Berg- und Hüttenwesen, wobei in Hinblick auf eine quasi-wissenschaftliche Befassung das Hauptgewicht über die Qualität des jeweils abgebauten Minerals hinaus in der Regel in der Betrachtung des Schönen, Kuriosen und Kostbaren gelegen hat. Mineralien wurden seit jeher gesammelt und sind bis heute Sammlerobjekte; schon im Barock gab es in größeren Städten wie in Wien zahlreiche Mineralienhändler, die die Sammler mir kuriosen und wertvollen Stücken bedienten. Die Bergleute der Renaissance waren die ersten praktischen Mineralogen. Der bedeutendste unter ihnen war

Georg Agricola (1494-1555)

Georg AGRICOLA, der ursprünglich Philologe war, dann nach dem Medizinstudium in Italien 1527-33 Arzt in Joachimstal. Hier schrieb er sein Werk

- **Bermannus sive dialogus de re metallica**, Basel 1530; 1534 ging er nach Chemnitz, wo er
- **De re metallica**, Basel 1556, sein berühmtes Hauptwerk und andere Arbeiten schrieb, die ihn zum „Vater der Mineralogie“ machten (so bezeichnet von Abraham WERNER);

AGRICOLA hat maßgeblichen Einfluss auf die Ausweitung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse der deutschen Bergleute genommen und ist von der sächsischen Regierung dabei nach Kräften gefördert worden. Deutsche Bergleute sind als hochspezialisierte Fachleute im 16.-18. Jh in viele Länder angeworben worden, zumal man über sie auch oft geheim gehaltene Verhüttungsverfahren kennenlernen wollte. 1765 hat die sächsische Regierung die Bergakademie in Freiberg begründet[103].

Conrad Gessner (1516–1565)

Conrad GESSNER bezieht sich in seinem Werk

- **De omni rerum fossilium genere, gemmis, lapidibus, metallis etc.** immer wieder auf Georg AGRICOLA.

[103] Die Bergakademie im oberungarischen (heute slowakischen) Schemnitz (Banská Štiavnica) wurde bereits 1713 bzw. 1763 eingerichtet.

2 ASIEN

2.1 MATHEMATIK

Die chinesischen Mathematiker und Astronomen führten die bereits geschilderte Tradition im Spätmittelalter und in der Frühen Neuzeit fort und bauten sie weiter aus. So entstanden bedeutende Lehrwerke der Mathematik, die in ihrer Praxisorientierung auch angrenzende Bereiche einbezogen und in weiterer Folge bis weit in die Neuzeit in Verwendung gestanden haben.

Li Yeh (1178-1265)
LI YEH schrieb "Seespiegel der Kreismessung", 1248, im wesentlichen Trigonometrie, Arithmetiker, weite Verbreitung in China und Japan. Eröffnungspassage ist das später nach PASCAL benannte Dreieck.

Chin Chiu-Shao (fl. 1250)
CHIN CHIU-SHAO war einer der größten Mathematiker überhaupt. Verfasste 1247 seine

- **Neun Abschnitte über Mathematik**: Lösung unbestimmter Gleichungen (indetermined problems) mit 81 sehr schwierigen Beispielen, chronologische Berechnungen, Landvermessung, Trigonometrie, Staatsdienst, Festungsbau, militärische Arithmetik, Tausch (Geldwechsel??).

  Verwendet rote Tinte für positive, schwarze für negative Zahlen. Für x ein eigenes Zeichen (das himmlische Element, Monade), die Null vorhanden (entweder direkt von den Hindus oder später über Muslime). Gleichungen werden horizontal geschrieben und so geformt, dass das Ergebnis negativ ist. Vermochte Gleichungen aller Grade zu lösen, SARTON behauptet auch 10. Grades, und zwar nach einer Methode, die an ein Hindu-Verfahren angelehnt und in China gut bekannt war (im Westen wurde dieses Verfahren erst 1805 und 1819 durch Paolo RUFFINI und William George HORNER angegeben – Ruffini-Horner-Verfahren).

Kuo Shou-Ching (1231-1316)
KUO SHOU-CHING diente unter KUBLAI KHAN, für den er einen Kalender errechnete, führte die Trigonometrie möglicherweise nach muslimischem Vorbild in China ein, konstruierte astronomische Instrumente, von denen zwei noch existieren (sie wurden 1900 in Peking von den Deutschen abmontiert und laut Vertrag von Versailles 1920 retourniert; sie sind nicht mit den Jesuiteninstrumenten des 18. Jhs zu verwechseln); sie tragen mongolische Gradeinteilung: 365 1/4 Grad auf den Kreis, 1 Grad = 100 Minuten zu 100 Sekunden). KUO SHOU-CHING gibt die Ekliptik mit 23°33,40 an!

Zhu Shijie(auch Chu Shih-Chieh) (1280-1303)
ZHU SHIJIE war ein außerordentlich bedeutender Mathematiker.

- 1299 **Einführung in die Mathematik**, das Standardlehrbuch mit 259 mathematischen Problemen, durch das die chinesische Algebra in Japan eingeführt wurde
- 1303 **Kostbarer Spiegel der vier Elemente** = eine Gleichungslehre auf teilweise allegorischer Ebene für Gleichungen aller Grade unter teilweiser Vorwegnahme der späteren Ruffini-Horner-Methode.

Der Autor diskutiert die Summierung integraler endlicher Serien und kommt zu erstaunlichen Ergebnissen. Ähnelt in manchem den Überlegungen GERBERTs von Aurillac.

3 Europa in der Frühen Neuzeit – 14.-17. Jahrhundert

3.1 ALLGEMEINES

Im Anschluss an den Nominalismus erstarkte die Naturphilosophie und gelangte rasch über die noch dürftigen Anfänge im 13. Jh. hinaus. Nach der Hochblüte in der ersten Hälfte des 14. Jhs erlahmte die um 1350 relativ lebhafte Diskussion und verlagerte sich in weiterer Folge nach Italien, ohne dass es jedoch zu besonderen Neuerungen gekommen wäre.

Nach wie vor ist trotz OCKHAMs Bemühungen das deduktive Verfahren der Naturbetrachtung dominierend und die noch immer herrschenden Auffassungen aus der peripatetischen Tradition werden zwar zunehmend der Kritik unterworfen, allein es gelingt nicht, sie durch wirklich zielführende neuere Ansätze zu ersetzen. So erweist es sich im Falle GALILEIs, dass noch in der ersten Hälfte des 17. Jhs Vorstellungen vorherrschen, gegen die bereits BURIDAN und ORESME Kritik vorgebracht haben, und GALILEI selbst erweist sich lange als von den klassischen und scholastischen Vorstellungen abhängig.

3.2 MATHEMATIK UND ASTRONOMIE

Die Entwicklung der Mathematik wird erst bestimmt vor allem durch die Astronomie, dann auch durch Fragen der Dynamik und weiters durch wirtschaftliche Aspekte. Wesentlich war dabei, dass aus philosophisch-theoretischen Überlegungen heraus die klassischen Probleme des zahlenmäßig Erfassbaren wieder aufgenommen wurden, woraus sukzessive eine wesentliche Erweiterung des Zahlenbereiches und der mathematischen Vorstellungen vor allem nun in der Arithmetik resultierte, und andererseits nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen die technisch-rechnerische Bewältigung des alltäglich Notwendigen verbessert wurde. Wesentlichen Anteil an dieser Entwicklung hatte natürlich die Einführung der arabischen Zahlzeichen, die eine wesentliche Vereinfachung aller Rechenvorgänge ermöglichte und damit der Arithmetik zu einem neuen Aufschwung verhalf.

Indem hinsichtlich der Mathematik im 15. und 16. Jh eine deutliche Intensivierung der Problemorientierung hinzutritt, wird erst die Algebra Gegenstand wissenschaftlichen Interesses, später folgt die Geometrie unter dem Aspekt der Entwicklung einer messenden und rechnenden Geometrie, deren klassischer Einsatzbereich die Kartographie ist (s.w.u., Gemma FRISIUS, Gerardus MERCATOR). Ein anderer Bereich der praktisch orientierten Mathematik war die Fassrechnung, die durch KEPLER in dessen „Doliometrie“ zum Abschluss gebracht worden ist und sich in Richtung Infinitesimalrechnung als wichtig und fruchtbar erweisen sollte.

Die Algebra wird in ihrer Entwicklung durch die italienischen und französischen Abacisten des 14. und 15. Jh, aber auch in Frankreich wesentlich gefördert. Diese Gruppe verbreitet die islamischen Methoden und die arabischen Zahlen und fördert den Umgang mit den modernen mathematischen Mitteln bis hin zur Übernahme bzw. Entwicklung der mathematischen Symbolik ganz ungemein. Es kursiert eine Fülle von Aufgabensammlungen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades. Im 14., vor allem im 15. Jh nimmt man die Lösung von Gleichungen höheren Grades (kubisch aufwärts) in Angriff, wobei man auf AL-KHAYYAM zurückgreifen konnte. Nicht wenige der Lösungsanweisungen sind hinsichtlich ihrer Entstehung nicht geklärt.

So tritt zwar einerseits im 16. Jh eine Verselbständigung der Mathematik von der Astronomie ein, und doch erbringt die Mathematik andererseits durch die im 16. Jh eingeleitete und zu Beginn des 17. Jhs abgeschlossene Entwicklung der Logarithmen eine für die Astronomie höchst bedeutende Neuerung. Insgesamt vollzieht sich eine erste Phase der Mathematisierung.

3.2.1 Die Wiener mathematisch-astronomische Schule des 15. Jhs

Als im Gefolge des Schismas von 1378 bedeutende Wissenschaftler wie ALBERT VON SACHSEN die Universität Paris verließen und schließlich an der Universität Wien eine neue Wirkungsstätte fanden,

führte das an der Universität Wien zu einer Belebung der naturwissenschaftlichen Interessen und damit der *via moderna*, was im 15. Jh seine Früchte trug.

Albert von Sachsen (ca. 1316-1390)
ALBERT VON SACHSEN lehrte zwar nur ein Jahr (1385/86) in Wien, da er anschließend das Bistum Halberstadt übernommen hat, wirkte aber im Wege seiner mathematischen Schriften, die lange hin den einschlägigen Vorlesungen an der Universität Wien zugrundegelegt worden sind – es waren dies ein an ORESME orientierter

- **Tractatus de latitudinibus formarum** und ein
- **Liber proportionum**, der BRADWARDINE folgte;

eigenständiger war eine Arbeit über das Verhältnis zwischen Quadratseite und Quadratdiagonale, das er – wie lange zuvor schon EUKLID – als irrational erkannt hat. Unklar ist, ob ALBERT VON SACHSEN als Autor an einer Arbeit mit dem Titel "**De maximo et minimo**" beteiligt war, die sich handschriftlich in Venedig erhalten hat. ALBERTS **Demonstrationes de quadratura circuli** sind ein Musterbeispiel scholastischer Vorgangsweise in der Mathematik[104]:

Der Mann, der die Mathematik in Wien stabilisiert und zweifellos die modernste Literatur mitgebracht hat, war

Heinrich Heimbuche von Langenstein (1325-1397)
Heinrich von LANGENSTEIN, doctor conscientiosus, einer der universalsten deutschen Gelehrten des Spätmittelalters, auf den über 100 – größtenteils noch unedierte und unausgewertete – naturwissenschaftliche Arbeiten zurückgehen. LANGENSTEIN ist auch der Verfasser der **ersten hebräischen Grammatik** im deutschen Bereich.

Heinrich von LANGENSTEIN hat einigermaßen eigenständig – im Anschluss natürlich an GERBERT, SACROBOSCO (Sphaera materialis, die Aufschluss gibt über die wichtigsten Orientierungs- und Berechnungshilfen in der Astronomie, über die Auf- und Untergänge, über Finsternisse) und die „Theoricae planetarum" des GERHARD VON SABIONETTA – Astronomie betrieben, was nicht ganz einfach war, da beispielsweise die Theoricae planetarum nichts anderes waren als eine wirre und nicht immer richtig verstandene Anhäufung griechischer und arabischer Lehrmeinungen, die REGIOMONTAN 1474 als *deliramenta* bezeichnet hat.

Einer der bedeutendsten Autoren dieses Bereiches, Klaudios PTOLEMAIOS, war damals noch nicht wirklich zugänglich, sondern lediglich in schlecht überlieferten Bruchstücken bekannt. LANGENSTEIN hat aber trotzdem als Erster auf Widersprüche zwischen der Lehre des PTOLEMAIOS und der beobachtbaren Wirklichkeit hingewiesen, wenn er feststellte, dass nach PTOLEMAIOS der Mond an bestimmten Stellen seiner Umlaufbahn den doppelten Winkeldurchmesser als an anderen Positionen haben müsste, was in der Wirklichkeit nicht gegeben sei.

LANGENSTEIN hat in Wien nie Mathematik gelesen; dazu war er sich als Theologe, also als Professor der ranghöchsten Fakultät, viel zu gut, denn die Mathematik rangierte als Inhalt des Quadriviums ja in der vorbereitenden Artistenfakultät. Aber wir wissen, dass man zu seiner Zeit in Wien von den Studenten in der Mathematik sehr viel, am meisten unter den Universitäten, verlangt hat: die Beherrschung zumindest der ersten 6 Bücher des EUKLID, die Proportionen des HEINRICH VON SACHSEN bzw. des ORESME. In Paris genügte ein Eid, dass man den EUKLID gelesen habe. Wir kennen darüber hinaus auch die Anforderungen für das Magisterium; das Wiener Vorlesungsangebot in der Mathematik war zweitweise recht beachtlich und vielfältig.

Es war dies wohl eine Folge des Umstandes auch, dass in Wien der Nominalismus maßgebend war, der eben auf die realistische Ausbildung größeren Wert legte, als die anderen Strömungen der Zeit.

So wird verständlich, auf welcher Grundlage es zur Entwicklung der Wiener mathematisch-astronomischen Schule des 15. Jhs gekommen ist, die in der Entwicklung dieser Bereiche in ihrer Zeit eine höchst ehrenvolle und führende Position eingenommen hat. Ihre Vertreter waren im wesentlichen JOHANN VON GMUNDEN, Georg Aunpeckh von PEUERBACH und REGIOMONTAN.

[104] Dazu s. Cantor 2,131 f.

Mit diesen Namen beginnt die Geschichte der Mathematik und der Astronomie im deutschen Sprachbereich – leider steht aber auch gleichzeitig die letzte Erwähnung einer österreichischen Universität in der vierbändigen Geschichte der Mathematik von Moritz CANTOR mit dieser Schule in Zusammenhang...

Johann von Gmunden (1380-1442)
war der Sohn eines Schneiders in Gmunden am Traunsee[105]. 1402 hat er an der Universität Wien das Baccalaureat erlangt – er ist also bereits in jener Zeit ausgebildet worden, in der die Mathematik in Wien auf der Höhe der Zeit war. 1406 wurde er Magister, 1408 nahm er seine eigene Vorlesungstätigkeit auf, 1409 wurde er *magister stipendiatus*, also besoldeter Vortragender und damit Mitglied des Collegium ducale. 1417 hat JOHANN VON GMUNDEN die Priesterweihe empfangen. Er ist praktisch der erste Fachprofessor an der Universität Wien – normalerweise wurden die Fächer, die der Einzelne lesen musste, zu Beginn des Semesters ausgelost; JOHANN VON GMUNDEN hat sich offenbar als Mathematiker einen derartigen Namen gemacht, dass man ihm a priori die mathematischen Vorlesungen zuerkannte, er hat jedenfalls von 1417 bis zu seinem Tode nur mehr Mathematik gelesen. Seine Bücher und Instrumente hat er 1435 der Universität vermacht – sie sind ein Grundstock der Universitätsbibliothek geworden.

In der Mathematik ist JOHANN VON GMUNDEN nach SACROBOSCO und nach eigenen Schriften vorgegangen: 1412 las er Algorithmus de integris (= Rechnen mit ganzen Zahlen), 1414 Perspectiva communis, 1416 und 1417 Algorismus de minutiis (= Rechnen mit Brüchen). Dann folgten Vorlesungen über EUKLID und andere Themen.

In eigenständiger Weise hat sich JOHANN VON GMUNDEN mit den Sexagesimalbrüchen auf der Grundlage der Kreisteilung beschäftigt

– **Tractatus de minutiis physicis**. Er hat dabei die schon von ALFONS VON KASTILIEN aufgegriffene, aber nicht allgemein akzeptierte Zusammenfassung von je 60 Graden als 1 signum physicum wiederaufgegriffen; der Kreis zerfällt demnach in 6 signa. 144 Grad 36' 45" hat er so geschrieben: .2.24.36.45.,; die Sekunden teilte er in Tertien, diese in Quarten und diese wiederum in Quinten. Er hat dies als *repraesentatio minutiarum physicarum* bezeichnet und die Bezeichnungen (wie ORESME) auch als Exponenten aufgefasst und rechnerisch als solche verwertet: secunda x tertia = quinta, also Addition der Exponenten. Da das Rechnen mit Sexagesimalbrüchen sehr umständlich war, hat er dafür Tafeln aufgestellt.

Von diesen Beschäftigungen war es nicht weit zur **Sinusberechnung**, mit ihm löst der Sinus endgültig im abendländischen Bereich die antiken Sehnentafeln ab. JOHANN VON GMUNDEN hat als Erster eine Sinustafel mit einem Intervall von nur 30' errechnet, indem er konstruktiv aus dem Fünfeck die 10-Eckseite gewann und daraus mit Hilfe des PYTHAGORAS als kleinsten Sinuswert den von 29' errechnete, aus dem er einen Sinuswert für 30' gewinnt, der von unserem modernen Wert erst in der fünften Dezimalstelle um eine Stelle abweicht. Auf dieser Grundlage hat er unter Anwendung des Lehrsatzes vom Sehnenviereck des PTOLEMAIOS die gesamte Tafel errechnet, was eine außerordentliche Leistung und eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsgrundlagen darstellte.

JOHANN VON GMUNDEN hat aber auch die zu seiner Zeit völlig ungewöhnlichen und bis auf KEPLER gemiedenen Dezimalbrüche angewendet, nämlich beim Quadratwurzelziehen, für das er eine eigene Näherungsformel angegeben hat, nachdem offenbar das bereits von THEON VON ALEXANDREIA gefundene Verfahren den Arabern und damit auch den Mathematikern des Spätmittelalters unbekannt geblieben war.

Trotz seiner beachtlichen mathematischen Leistungen und obgleich er, soweit wir wissen, keine astronomischen Vorlesungen gehalten und vermutlich auch kaum beobachtende Astronomie betrieben hat, war Johann als **Astronom** bedeutender denn als Mathematiker.

JOHANN VON GMUNDEN hat sich sein ganzes Leben lang mit der Erstellung verbesserter **Planetentafeln** beschäftigt – in seinem Testament spricht er von 5 verschiedenen Ausführungen, die er mehrfarbig und künstlerisch gestaltet erstellt hat. Diese Tafeln gaben die Mittagsstände der damals bekannten Planeten für einen bestimmten Meridian an – im Falle JOHANN VON GMUNDENs natürlich für Wien.

[105] Sowohl Schwäbisch-Gmünd als auch Gmünd im Waldviertel scheiden als Herkunftsorte aus.

Die erste dieser Tafeln – von 1419 – ist verloren, die anderen sind in sorgfältig ausgestalteten Handschriften der heutigen Nationalbibliothek als Autographen erhalten geblieben. Die vierte Ausgabe ist übrigens das von REGIOMONTAN benützte Handexemplar. Am Schluss der letzten Fassung steht angeblich von JOHANN VON GMUNDENs Hand: "*Iste canon et tres canones immediate praecedentes colecti sunt wienne per reverendum magistrum Joannem de Gmunden /.../*"[106].

JOHANN VON GMUNDENs Tafeln beruhten auf den Alfonsinischen Tafeln, denen von JOHANNES VON MURIS und Johannes DE LINERIIS, ihre Organisation ist allerdings wesentlich moderner, günstiger und für den Benützer vorteilhafter – im Grunde genommen ist es die heute noch bei den Ephemeriden gebräuchliche Organisation. JOHANN VON GMUNDEN hat durch geschickte Kunstgriffe die Angaben auf den Wiener Meridian umgestellt, ohne neu rechnen zu müssen und ohne den exakten Wert für die Längendifferenz zwischen Wien und Toledo (Meridian der Alfonsinischen Tafel) zu kennen[107].

JOHANN VON GMUNDEN hat zu diesen Tafeln als Erster in Mitteleuropa den Einleitungstext der Alfonsinischen Tafeln und eigene Erläuterungen, auch der Terminologie, hinzugefügt, die die Benützung der Tafeln in weiteren Kreisen überhaupt erst ermöglichten.

Seine Tafeln beginnen mit der 8. Sphäre – also dem Fixsternhimmel, dessen Präzession (= Bewegung des Frühlingspunktes innerhalb des PLATONischen Jahres) für 60 Fixsterne angegeben wird. Darauf folgen die Unterlagen für die Berechnung der Orte der rückläufigen Planeten, am kompliziertesten natürlich bei den inneren Planeten (auf Grund der kleineren Umlaufzeiten), rechnerische Grundlage ist das irdische Jahr 1 = "*tempore incarnationis Christi*"; damit wollte JOHANN VON GMUNDEN die Verwendung seiner Tafeln gleichsam für alle Zeiten sichern. Darüber hinaus gibt es Tabellen für die scheinbaren Veränderungen des Sonnen- und des Monddurchmessers. Den Abschluss bildet die Angabe der geographischen Länge und Breite von 19 Städten: während die Breiten ziemlich genau sind, sind die Längenangaben (die nach einem über Westafrika laufenden Nullmeridian angegeben werden) sehr ungenau. Für Wien hat JOHANN VON GMUNDEN (wohl vom Turm des Collegium ducale aus) 48 Grad 24 min. angegeben (recte Stephansturm 48 Grad 13 min) – die Beobachtungen hat vielfach der dafür bekannt gewordene Schüler JOHANN VON GMUNDENs, Georg PRUNNER, durchgeführt.

Ein anderes Hauptbemühen JOHANN VON GMUNDENs galt der Einführung und Verbesserung astronomischer Geräte. Als astronomische Geräte waren damals in Verwendung[108]:

In dieser Zeit waren die verwendeten astronomischen Behelfe zur Beobachtung im Abendland noch sehr einfach; einige seien im Folgenden angeführt:

– **die Mittagslinie** wurde gewonnen, indem man um einen Punkt, in dem vertikal ein Stab stand, einen Kreis zog, den der Schatten zu gleichen zeitlichen Abständen vom Mittagsstand der Sonne am Vormittag und am Nachmittag schnitt. Dies ergibt ein Dreieck, dessen durch den Mittelpunkt des Kreises verlängerte Höhe die Mittagslinie ist.

– **das Sehrohr** war lediglich ein langer Tubus, der dazu diente, möglichst wenig Fremdlicht ins Auge gelangen zu lassen (Linsen sind ja erst durch GALILEI eingeführt worden). GERBERT von Aurillac hat 982 einen solchen tubus opticus zur Beobachtung des Polarsterns verwendet.

– **Uhren** – ihnen kam natürlich besondere Bedeutung zu, ihre Entwicklung ist im Abendland aus religiösen Gründen nicht so schlecht (Feststellung der Zeiten für Gebete und Messen): Wasseruhren (froren in den Klöstern im Winter ein, verdreckten und liefen dadurch unregelmäßig), Sanduhren,

---

106 Gegen die Einstufung als Autograph spricht allerdings wohl der Umstand, dass sich JOHANN VON GMUNDEN damit selbst als „reverendus" bezeichnet hätte, was – auch wenn man zugesteht, dass dieses Epitheton damals als selbstverständlich verwendet wurde wie heute noch eine Anrede als „Sehr geehrter Herr" – eher gegen den Befund spricht. Im Falle des vermutlichen Beda-Autographs ist gerade der Umstand, dass dort im Explicit statt des schon zu seinen Lebzeiten verwendeten Epitheton „venerabilis" das Wort „miserabilis" steht, der für die Annahme spricht, dass es sich um Autograph handle.

107 . Die Beherrschung der exakten Längenfeststellung war ja bis weit in die Neuzeit herein eines der größten astronomischen Probleme – hing ja von der Exaktheit der Zeitmessung und damit von der Entwicklung hinreichend genauer transportabler Uhren ab – daher ja auch die Preise, die in England etwa für die Entwicklung eines Chronometers ausgesetzt worden sind (zu Beginn des 18. Jhs 20.000 Pfund Sterling für ein Chronometer, das die Bestimmung der Länge auf 30 Minuten zulässt!). Auf seiner zweiten großen Reise nahm COOK ein Chronometer von HARRISON mit, das ihm eine bis dahin ungekannte Präzision der Navigation ermöglichte – bei COOKs Rückkehr nach England soll die Abweichung des errechneten Schiffsortes vom tatsächlichen nur 13 km betragen haben!

108 Vgl. dazu die [http://www.univie.ac.at/EPH/Geschichte/Wien/Gmunden2006.pdf::Ausführungen] von Maria G. Firneis (mit zahlreichen Abbildungen).

Kerzenuhren (in Westeuropa, angeblich von ALFRED dem Großen erfunden) und natürlich die Sonnenuhren, deren Weiterentwicklung bis in die Neuzeit herein angehalten hat. Die Araber kannten bereits Räderuhren, doch ist es in Unkenntnis dessen in Frankreich zu einer eigenständigen Entwicklung von mechanischen Uhren gekommen, die sich aus den automatischen Bratenwendern ableiteten – im 14. Jh werden bereits "Schellen" auf Kirchtürmen erwähnt. Die Entwicklung der Räderuhr führte zur Ausformung von 12 bzw. 24 von der Jahreszeit unabhängigen und gleich langen Stunden (Halbe und Große Uhr, 1330 erstmals erwähnt; da sich aber die kirchlichen Gebetszeiten auf ungleich lange Stunden bezogen und außerdem auch auf den Sonnenauf- und Untergang, musste man Umrechnungstabellen herstellen; die Zählung dieser Stunden ist nicht von Anbeginn an in der uns heute geläufigen Weise erfolgt: in manchen Gegenden zählte man zeitweise die halbe Uhr von Sonnenauf- bzw. -untergang an, was natürlich nur um die Zeit der Tag- und Nachtgleiche funktioniert und wovon man deshalb wohl abgekommen ist; die mechanischen Uhren zeigten zuerst natürlich nur die Stunden, REGIOMONTANS Freund WALTER hat allerdings 1487/88 Beobachtungen mit Minutenangaben verzeichnet, die er allerdings nicht mit einer Uhr, sondern mit einer Armillarsphäre erzielte; die nächste Angabe mit Minuten ist von Tycho BRAHE aus dem April 1577 bekannt, wobei er seine außerordentlich genaue Uhr erwähnt. Schon 1581 verwendet BRAHE die Sekunde; 1587 hat er die Genauigkeit seiner Uhren mit bestenfalls 4 Sekunden Abweichung pro Tag angegeben; die Überprüfung fand täglich mit Hilfe von Gestirnsdurchgängen und der Sonnenuhr für den Augenblick des höchsten Sonnenstandes statt (für diese letztere Überprüfung diente insbesondere der **Indische Stab** = Schattenstab, mit Hilfe eines solchen Stabes von 2,5 m Höhe hat man zu Ende des 18. Jhs beispielsweise in Altdorf bei Nürnberg den Mittagsaugenblick auf eine halbe Sekunde genau bestimmt). Wirklich exakte Zeitangaben wurden erst mit der Entwicklung der Pendel- und der Federuhren durch Christiaan HUYGHENS und andere um die Mitte des 17. Jhs möglich.

Die Ungenauigkeit der mechanischen Uhren war der Grund dafür, dass neben ihnen andere Uhrensysteme weiterentwickelt wurden. Eine Sonderstellung nahmen diesbezüglich die Sonnenuhren ein, die in einer unglaublichen Fülle von Konstruktionsvarianten (Ringsonnenuhr, Säulchensonnenuhr[109], als konkave Halbkugel etc.) hergestellt worden sind. Eine erste Verbesserung stellte die exakte Ausrichtung nach Süden und die Verwendung polwärts gerichteter Schattenstäbe dar; die Verbindung mit der Kompassnadel führte dann zur Entdeckung der Missweisung.

Neben den Sonnenuhren gab es allerdings auch Sternuhren – horologia noctis = noctilabium, die in Frankreich erfunden und erstmals von Ramon LULL beschrieben worden sind; sie orientierten sich am Polarstern und den Sternen in seiner Umgebung (die als *fratres* bezeichnet wurden), wobei man durch eine Bohrung in der Scheibe den Polarstern anvisierte und mit Hilfe eines Zeigers mit Zackenskala andere Sterne einstellen und an Hand der Zacken die gleichlangen Stunden ablesen konnte. JOHANN VON GMUNDEN hat sich auch mit diesem Gerät beschäftigt.

– **das Astrolabium**: hier gibt es zwei Varianten: das sphärische Astrolabium in Kugelgestalt und das Planisphärium auf einer flachen, freihängenden Scheibe mit "Lochabsehen" auf der Alhidade (= Zeiger). Das Planisphärium bietet in der Regel eine Projektion des Himmels auf eine Ebene tangential zum Nordpol der Erde gesehen (und daher entsprechend projiziert) von einem bestimmten Ort (bei JOHANN VON GMUNDEN etc. Wien) aus. Es zeigt im Netz eine Reihe von Fixsternorten und auf einem eigenen Kreis den Tierkreis, als Eklipse wird in der Regel der Wert 24 Grad angegeben.

Eine der wichtigsten deutschen Arbeiten zum Astrolabium ist von Heinrich von LANGENSTEIN oder einem seiner Schüler in Wien verfasst worden. 1434 hat JOHANN VON GMUNDEN in Wien über die Herstellung und die Verwendung des Astrolabiums gelesen, wobei er sich stark an eine entsprechende Arbeit des Prager Astronomen Christian von PRACHATITZ anlehnte. Auch JOHANN VON GMUNDENS Nachfolger Georg von PEUERBACH und REGIOMONTAN haben Schriften zum Astrolabium hinterlassen. PEUERBACH hat ein Instrument 1457 – möglicherweise für FRIEDRICH III. – hergestellt, dieses Instrument ist durch REGIOMONTAN dann allerdings nach Nürnberg gekommen, wo es heute im Germanischen Nationalmuseum ausgestellt ist.

[109]. Als erster hat JOHANN VON GMUNDEN in Österreich die allerdings schon von HERMANN CONTRACTUS angegebene Säulchensonnenuhr eingeführt; ein sehr schönes Exemplar einer solchen Säulchensonnenuhr befindet sich übrigens im Joanneum in Graz, angefertigt von Hieronymus von LAUTERBACH um 1575

– **der Quadrant**: der Sonnenquadrant ist im 10. Jh aus dem Astrolabium (quarta pars astrolabii) entstanden. Der Quadrant ist in 90 Grade geteilt und hat zwei Absehlöcher aufgesetzt; die Vertikale wird durch eine Schnur mit einer Perle (margarita) angezeigt. Das Gerät diente in erster Linie zur Bestimmung der Sonnenhöhe, also in Zusammenhang mit dem Datum der geographischen Breite. Für exakte Messungen sind später sehr große Quadranten gebaut worden, berühmt war der gemauerte Quadrant des Tycho BRAHE.

– **das Türkengerät = Torquetum**: dieses Gerät ist nicht von den Arabern übernommen, sondern erst im Abendland entwickelt worden; es wird gegen Ende des 13. Jhs in Paris das erste Mal genannt und ist ein etwas anschaulicheres Modell des astronomischen Systems. Auch über dieses Gerät hat JOHANN VON GMUNDEN in seinen späteren Arbeiten (1433 erwähnt) gearbeitet und damit die Grundlage für REGIOMONTAN abgegeben, der sich vor allem in seiner ungarischen Zeit damit auseinandergesetzt und das Gerät modernisiert hat.

– **der Jakobstab**: ist von jüdischen Astronomen Levi BEN GERSON (1288-1344 in der Provence) 1342 erfunden, aber erst im 15. Jh weiter bekannt geworden. BEN GERSONs Stab war noch unhandlich (Stab mit mehreren aufgesteckten Scheiben), in Wien wurde nur ein Stab mit verschiebbarem Querholz verwendet. Der Jakobstab diente zur Messung von Sternabständen. REGIOMONTAN hat den Jakobstab dermaßen verbessert, dass er im 16. Jh in Portugal als sein Erfinder bezeichnet worden ist.

– **der Kompass**: ist anfangs im Zusammenhang mit der Sonnenuhr aufgetreten, die ja auch als campas, compas bezeichnet worden ist. 1451 war die Missweisung des Kompasses bereits bekannt, sie ist höchstwahrscheinlich in Wien durch PEUERBACH und REGIOMONTAN entdeckt worden – Differenz zwischen der von der Kompassnadel angegebenen "Meridianlinie" und der durch den Indischen Kreis, also von der Sonne direkt, gewonnenen Meridianlinie.

Über nahezu alle diese Geräte hat JOHANN VON GMUNDEN gehandelt. Besonders hervorzuheben ist aber seine Abhandlung über das **Albion**, das um 1326 in Oxford erfunden worden ist und dessen Name "*all by one*" > Albion schon ausdrückt, dass es sich hier um ein die verschiedensten Geräte in eines vereinigendes Gerät handelt, das auch denkbar kompliziert und deshalb schwierig zu benützen gewesen ist. In der Nationalbibliothek in Wien hat sich eine Zeichnung Johanns zum Albion erhalten, das an die 28 konzentrische Skalen enthalten hat.

JOHANN VON GMUNDEN hat auch selbst ein Gerät erfunden, nämlich das **Instrumentum sollempne**. Dieses Instrumentum sollempne ist eine Abbildung des ptolemäischen Systems und war der Versuch, von den komplizierten Tafeln und Projektionen unabhängig zu werden, indem man nicht mehr nur mit den Wahrnehmungen vom Beobachtungsort operiert, sondern mit der vermeintliche Mechanik des "Erd"systems, wobei sich das Instrumentum sollempne auch aus Papier sehr einfach anfertigen ließ (es ist auch in einer Reihe von Handschriften überliefert, die Österreichische Nationalbibliothek besitzt immerhin den Originalentwurf JOHANNs).

JOHANN VON GMUNDEN hat sich des Systems des Instrumentum sollempne auch bei der Berechnung chronologischer Angaben (Sonntagsbuchstaben etc.) bedient – es sind diese Vorrichtungen als die ersten Analogrechner der Welt bezeichnet worden.

Auch den Quadranten hat Johann in origineller Weise so verändert, dass er – wenn man das Datum wusste – ohne weitere Berechnungen als Sonnenuhr dienen konnte. Berühmt ist der elefenbeinerne Quadrant, den Johann 1437 für FRIEDRICH III. angefertigt hat und auf dem übrigens erstmals das „AEIOU“ FRIEDRICHs nachweisbar ist. – JOHANN VON GMUNDEN hat mit Hilfe des Quadranten sogar die Höhe bzw. Länge entfernter Gegenstände (eines Turms etwa) messen können, wozu er eine ziemlich komplizierte trigonometrische Formel entwickelt hat, die allerdings wieder verlorengegangen und von PEUERBACH neu entwickelt worden ist.

JOHANN VON GMUNDEN hat auch die Genauigkeit der Kalender bedeutend verbessert, wobei er in erstaunlicher Genauigkeit die Mondphasen angibt, sodass sich das Mondmonat richtig mit 27d 7h 43m ergibt! Er hat auch den ersten deutschen Kalender zum Druck gebracht.

Georg Aunpeckh von Peuerbach (1423-1461)

PEUERBACH hat JOHANN VON GMUNDEN wahrscheinlich persönlich gekannt, aber nicht mehr zum akademischen Lehrer gehabt; er hat dessen Arbeit fortgesetzt.

PEUERBACH ist möglicherweise in den 1440er Jahren in Klosterneuburg mit Kopierarbeiten beschäftigt worden, möglicherweise hat er dabei MUESTINGER und auch JOHANN VON GMUNDEN kennengelernt. Erst mit 23 Jahren ist er 1446 auf die Universität Wien gekommen, wo er 1448 Baccalaureus und 1453 Magister wurde. In den Jahren 1448 bis 1451 hat sich PEUERBACH in Italien aufgehalten, wo er Nikolaus von KUES 1400-1464, (Kardinal 1448) und in Ferrara den italienischen Astronomen Giovanni BIANCHINI kennenlernte und sehr vom Humanismus beeinflusst worden ist; es sollen ihm in Italien und auch nach Krakau Professuren angeboten worden sein. PEUERBACH hat in Wien anfangs hauptsächlich über klassische Literatur gelesen und natürlich selbst gedichtet. 1457 ist PEUERBACH in die Dienste FRIEDRICHs III. getreten.

Als 1460 Kardinal BESSARION sich in Wien aufhält, zieht er auch PEUERBACH an sich und legt ihm und seinem Schüler REGIOMONTAN nahe, die klassischen Autoren im Urtext, also in Griechisch zu lesen; als dies aufgegriffen wird, erklärt sich BESSARION bereit, die erforderlichen Archiv- und Bibliotheksstudien in Italien zu finanzieren, und beauftragt PEUERBACH mit der Bearbeitung des Almagest des PTOLEMAIOS, die allerdings erst REGIOMONTAN vorantreiben konnte, da PEUERBACH ja 1461 bereits gestorben ist.

Als Mathematiker hat PEUERBACH nur Konventionelles geleistet und kleinere Lehrbehelfe verfasst, weit bedeutender war auch er als Astronom, wenn man in Rechnung stellt, dass die von ihm neuerstellten Sinustafeln, die er mit Hilfe eines [wissg-079-741::Quadratum geometricum] mit einer Seiteneinteilung von 1-1200 erstellt hat und die von 10' zu 10' fortschritten, primär astronomischen Interessen entsprangen. Die von ihm geplante Trigonometrie hat er nicht mehr ausführen können.

Wie bereits erwähnt hat PEUERBACH, oder sein Schüler REGIOMONTAN, um 1451 die Missweisung der Kompassnadel entdeckt und sie bei der Herstellung von Sonnenuhren in Rechnung gestellt. Die älteste bekannte derartige Sonnenuhr gehörte FRIEDRICH III.! 1454 hat PEUERBACH erstmals über Theoricae planetarum gelesen, wobei er vermutlich die älteren Vorstellungen widergegeben hat.

1456 hat ein interessantes kosmisches Phänomen PEUERBACH, und andere natürlich auch, interessiert – der HALLEYsche Komet, der damals natürlich noch nicht diesen Namen trug. PEUERBACH hat damals den ersten bekannten Versuch unternommen, die Größe und die Entfernung eines Kometen zu bestimmen, wobei er bei aller Unzulänglichkeit des Verfahrens in Widerspruch zur herrschenden Ansicht geraten ist, Kometen seien eine sublunare, gleichsam atmosphärische Erscheinung, und auch REGIOMONTANs bedeutende Arbeit über Kometen im Jahre 1472 angeregt hat.

Im Unterschied zu JOHANN VON GMUNDEN hat sich PEUERBACH auch mit der **Astrologie** beschäftigt oder beschäftigen müssen; 1452 hat er FRIEDRICH III. in Bezug auf seine bevorstehende Eheschließung das Horoskop gestellt, das von REGIOMONTAN aufgezeichnet worden und in einer Abschrift REGIOMONTANs erhalten ist. Ebenso hat er der künftigen Kaiserin ELEONORE VON PORTUGAL die Nativität gestellt (dieses Horoskop ist durch Hartmann SCHEDL überliefert).

Die Horoskopstellung auf den Geburtszeitpunkt war etwas Neues, sie ist erst im 15. Jh so recht in Schwung gekommen. Sie stellte für die Kirche in so ferne ein Problem dar, als immer wieder versucht wurde, die Nativität Jesu oder Mariä zu erstellen – Heinrich von LANGENSTEIN etwa hat die Ansicht vertreten, dass kein Einfluss der Himmelskörper auf Maria im Augenblick ihrer Geburt gegeben gewesen sei. 1327 ist in Florenz ein Astrologe, der die Nativität Jesu gestellt hatte, verbrannt worden; CARDANO, der dasselbe unternommen hat, ist von diesem Schicksal verschont geblieben.

PEUERBACH hat zweifellos sich in seiner Auseinandersetzung mit PTOLEMAIOS und mit KUES auch mit der Frage des kosmischen Systems beschäftigt. Er hat die gegebenen Ansätze zum heliozentrischen System nicht akzeptiert und nicht an die Bewegung der Erde um sich selbst (wie "*ein Braten auf dem Bratspieß*") geglaubt.

Das astronomische Hauptwerk PEUERBACHs war die

- **Theorica nova realem sp(h)erarum habitudinem atque motum cum terminis tabularum declarans**, die REGIOMONTAN 1472 unter dem von ihm gewählten Titel "Theoricae novae planetarum" in Nürnberg als erstes Werk im Druck herausgegeben hat. Diese Arbeit[110] von 1454 war wenig originell und hat wesentlich auf Arbeiten des PTOLEMAIOS zurückgegriffen, wie sie in einem

[110] S. digitalisierte Fassung [http://www.univie.ac.at/hwastro/books/theoBWLow.pdf//::in S/W] und [http://www.univie.ac.at/hwastro/books/theoColMed.pdf::in Farbe]

Klosterneuburger Codex, der unter JOHANN VON GMUNDEN zusammengestellt worden ist, zusammengefasst waren. Die Theoricae novae planetarum haben SACROBOSCOs "Sphaera materialis" und GERHARD VON SABIONETTAS "Theorica planetarum communis" als Lehrbuch dieses Bereiches abgelöst.

PEUERBACH hat gegen Ende der 1450er Jahre ein großes [wissg-079-742::Tafelwerk], die

– "**Tabulae eclipsium**" = Finsternisse erstellt, das der Errechnung der Finsternisse diente und das er aus Courtoisie gegenüber dem Bischof JOHANN VITEZ für Großwardein in Ungarn berechnete und als **Tabulae waradienses** bezeichnete. Obgleich PEUERBACH nicht einmal die genau Lage von Großwardein[111] kannte und nur eine approximative Länge seiner Umrechnung der Wiener Werte anwendete, war das Ergebnis erstaunlich gut – für eine für 1460 vorausberechnete Mondesfinsternis wich er nur um 3 Minuten von der tatsächlichen Zeit ab!

Die von ihm in Angriff genommenen Planetentafeln hat PEUERBACH nicht mehr vollenden können (gest. 1461).

Den Höhepunkt und eigentlich auch das Ende der führenden Position der Universität Wien in den Bereichen des Quadriviums, also den mathematisch-astronomischen Wissenschaftsbereichen, stellte

Johannes Müller genannt Regiomontanus (1436-1476)

(verschiedene Namensformen: Johannes del Monte, Johannes Molitor de Monte Regio etc., allgemein als REGIOMONTAN bezeichnet). (6.6.1436 – 6.7.1476). Stammte aus Königsberg in Franken. REGIOMONTAN hat mit 11 Jahren das Studium an der Universität Leipzig aufgenommen, wo er 1448 (im Alter von 12 Jahren) angeblich die genauesten Planetentafeln für das damals laufende Jahr erstellt haben soll. 1450 ist REGIOMONTAN nach Wien gegangen, das in Bezug auf Mathematik und Astronomie eben einen besonderen Ruf hatte. Hier ist er nach dessen Rückkehr aus Italien mit PEUERBACH zusammengekommen, dessen Schüler er bis zu PEUERBACHs Tod geblieben ist und dessen Werk er darüber hinaus fortgesetzt hat. Dazu mag wohl gekommen sein, dass die Astronomie in Wien durch FRIEDRICH III. in besonderem Maße gefördert worden ist (die Wiener Burg hat seit seiner Zeit bis in das 19. Jh im sogen. Schweizer-Hof einen eigenen astronomischen Turm besessen). 1452 erlangt REGIOMONTAN in Wien das Baccalaureat, 1457, zum Mindestalter, das Magisterium. Im Jahr darauf beginnt er seine eigene Lehrtätigkeit.

Wir haben bereits gehört, dass BESSARION PEUERBACH – und mit ihm REGIOMONTAN – zum Studium des Griechischen angeregt hat, um die Urtexte etwa des PTOLEMAIOS und anderer Autoren zu lesen – durch diese Forderung haben die primär philologisch-literarisch geschulten und interessierten italienischen Humanisten eine äußerst wertvolle Anregung für die weitere Entwicklung der Naturwissenschaft gegeben.

Regiomontan als Mathematiker – Als 1461 PEUERBACH stirbt, fällt für REGIOMONTAN der Hauptgrund für seinen Aufenthalt in Wien weg und er bricht im Gefolge des BESSARION nach Italien auf, wo er nicht nur KUES und BIANCHINI kennenlernte, sondern vor allem Quellen der Mathematik und der Astronomie sammelte. 1463 hat REGIOMONTAN in Venedig die hochbedeutende, bis dahin verschollene Arithmetik des DIOPHANT von Alexandreia aus dem 3. Jh. n.Chr. entdeckt, die sich mit Gleichungen 1. und 2. Grades mit mehreren Unbekannten unter der Zielsetzung von ganzzahligen Lösungen (DIOPHANTische Gleichungen) sowie wie mit Problemen der Analysis beschäftigen (die erste Gesamtausgabe des DIOPHANT hat aber erst FERMAT 1670 herausgegeben).

1467 ist REGIOMONTAN noch einmal kurz nach Wien zurückgekehrt, allerdings nur, um sehr bald wieder nach Ungarn weiterzureisen, wo er sich bis 1471 am Hofe des MATTHIAS CORVINUS aufgehalten hat, dem er seine "**Tabula primi mobilis**" widmete. 1471 ist REGIOMONTAN nach Nürnberg gegangen, wo er schließlich unter der Patronanz und Munifizenz des Nürnberger Patriziers Bernhard WALTER ein eigenes Observatorium mit Werkstätte und einem eigenen Wissenschaftsverlag mit eigener Druckerei führte.

1476 ist REGIOMONTAN von Papst SIXTUS IV. als Sachverständiger in Fragen der Kalenderreform nach Rom gerufen worden, wo er am 6. Juli 1476 bald nach seiner Ankunft gestorben ist.

---

[111] Heute das rumänische Oreada nahe der ungarischen Grenze.

REGIOMONTAN hat vielleicht als Erster **mathematikhistorische Vorträge** gehalten; als er in Padua über AL-FARGHANI sprach, gab er in der uns erhaltenen Einleitung einen historischen Überblick über die Entwicklung der Mathematik, wie sie sich ihm darstellte – heute eine Quelle allerersten Ranges. REGIOMONTAN hat seine Ausführungen in solche zur Arithmetik und solche zur Geometrie gegliedert und dabei auch gleich einen Überblick über die Überlieferungsverhältnisse geboten und auch auf bis dahin unübersetzte Texte sich bezogen. REGIOMONTAN war die einzige fachliche Kapazität des 15. Jhs, die in der Lage war, griechische Texte zu lesen und zu verstehen. – Übertroffen wird diese Einleitung noch von dem uns erhaltenen [wissg-079-750::Verlagsprospekt] aus der Nürnberger Zeit, die einer wissenschaftlichen Beststellerliste des 15. Jhs gleicht. CANTOR meinte dazu: „*Besäßen wir von Regiomontanus nichts anderes als dieses Verzeichnisse fremder und eigener Werke, so würden sie genügen, uns mit Staunen über den Umfang der Gelehrsamkeit und über die Vielseitigkeit des Wissens des seltenen Mannes zu erfüllen*".

Aus der Wiener Zeit des REGIOMONTAN liegen keine wissenschaftlichen Arbeiten vor, wenn er auch gemeinsam mit PEUERBACH gearbeitet hat – die Ergebnisse sind erst in Italien zutage getreten:

1463 wohl hat er in Venedig sein großartiges [wissg-079-743::Werk] "**De triangulis omnimodis libri quinque**" abgeschlossen, deren 5. Buch allerdings nur mehr skizziert ist. Dieses Werk hat WALTER nach dem Tod seines Verfassers zurückgehalten, nach seinem Tod ist es verschollen, bis Willibald PIRCKHEIMER die zerfledderte und vermutlich nicht mehr ganz vollständige Handschrift erwarb und für ihre Drucklegung sorgte. 1533 erst ist eine Ausgabe dieses Werkes erschienen, das zu den bedeutendsten mathematischen Arbeiten der frühen Neuzeit zählt, weil REGIOMONTAN darin endgültig **die bis dahin gültigen Grenzen überschreitet, indem er die Trigonometrie** (wie im muslimischen Raum zuvor schon einmal geschehen) **von der Astronomie loslöst und damit auch im Abendland als mathematischen Teilbereich begründet**, in einer bis in die heutige Zeit gültigen Weise: der Mathematikhistoriker WUßING meint, dass dieses Werk "*die Entwicklung, die Gestalt und den Aufbau der ebenen wie der sphärischen Trigonometrie bis in die Gegenwart hinein entscheidend geprägt*" habe. – REGIOMONTAN hat übrigens mit diesem Werk PEUERBACHs Plan eingelöst, eine "*triangulorum artem*" zu schreiben, die er aus dem Studium des PTOLEMAIOS heraus als eine Notwendigkeit empfunden hatte.

In den Büchern 1-2 legt REGIOMONTAN die ebene Trigonometrie unter dem Aspekt der Sinuslehre vor allem dar – definiert den Sinus, die Proportionen der Dreieckseiten genügen ihm, um die Winkel eines rechtwinkeligen Dreiecks zu errechnen, er errechnet die Dreieckshöhen etc. Im 3. Buch bringt er als Überleitung zur sphärischen Trigonometrie die Geometrie der Kugel, für die er sich teilweise nach der Sphärik des MENELAOS von Alexandreia (1. Jh nChr) gehalten zu haben scheint. Das 4. Buch beschäftigt sich dann mit der sphärischen Trigonometrie selbst, das 5. Buch bringt noch einige Lehrsätze und Aufgaben, ist jedoch nicht ganz ausgeführt.

REGIOMONTAN hat eine Reihe von **Tafelwerken** verfasst:

- **zwei Sinustafeln,** [wissg-07B-852::Tafelwerke] von bis dahin ungekannter Genauigkeit auf der Grundlage eines Radius einmal von 6,000.000 und von 10,000.000, einige Werte sogar auf 600,000.000.
- **Tabulae cum duobus numeris** = Die Tafel des doppelten Einganges, gemeint ist damit, dass man die Tafel, die praktisch eine Sinustafel ist, unter zwei Aspekten benützen kann. REGIOMONTAN gibt, von Grad zu Grad fortschreitend die Sinuswerte fünfstellig an; bezüglich der Zwischenwerte hat er die Methode einer Proportionalteilung angegeben.
- **Tabulae directionum,** sie sind REGIOMONTANs bedeutendste Tafel; sie sind in mancher Hinsicht allerdings auf astrologische Zielsetzungen ausgerichtet, die in ihrem Teilbereich der [wissg-079-746::Tabula faecunda] jedoch eine **erste Tangenstafel mit dezimaler Teilung** bieten[112], indem REGIOMONTAN den Radius mit 100.000 angenommen hat (also tang 45 Grad = 1); JOHANN VON GMUNDEN und PEUERBACH hatten in ihren Tafelwerken noch mit 60.000 bzw. 600.000 gearbeitet.

Wie Nikolaus von KUES auch hat sich REGIOMONTAN mit dem Problem der Kreisquadratur beschäftigt und in diesem Zusammenhang eine Streitschrift in Dialogform

[112] . Den Begriff Tangens hat REGIOMONTAN noch nicht verwendet, er spricht einfach von "*numeri*".

- **De quadratura circuli secundum Nicolaum Cusensem** gegen den von ihn eigentlich geschätzten KUES verfasst. REGIOMONTAN hat dabei auf die Ungleichung des ARCHIMEDES zurückgegriffen, dass nämlich π kleiner als 3 1/7, aber größer als 3 1/71 sein müsse.
- **Contra deliramenta Cremonensia**, es ist dies ein kritischer fiktiver (literarischer) Dialog, den er mit dem Krakauer Astronomen Martin ILKUSCH über die Planetentheorie des GERHARD VON SABIONETTA führt, dessen Anschauungen er teilweise als *deliramenta* abqualifiziert hat.

REGIOMONTAN hat darüber hinaus auch **Quadrat- und Kubikzahlentafeln** und entsprechende **Wurzeltafeln** berechnet.

Regiomontan als Astronom – auch in der Astronomie gab es engste Zusammenarbeit mit PEUERBACH; so war er natürlich an den Kometenbeobachtungen von 1456 beteiligt[113] – 1472 hat er selbst einen anderen Kometen beobachtet und

- **De cometa magnitudine ac de loco euius vero problemata libri XVI** publiziert – die darin angegebenen Koordinaten reichten in ihrer Exaktheit noch für eine einigermaßen brauchbare Bahnberechnung dieses Kometen durch Edmond HALLEY um 1700.

In Wien schon begann REGIOMONTAN mit der Sammlung und Kopierung klassischer Autoren – er hat dazu zumindest die Stiftsbibliotheken von Melk und Klosterneuburg aufgesucht. Seine in diesem Zusammenhang erstellten Notizen geben wertvolle Auskünfte – so wissen wir, dass der Sinussatz des sphärischen Dreiecks um 1430 bereits in Österreich bekannt gewesen ist. Diese Beschäftigung mit der älteren Literatur hat eine Ausweitung erfahren durch den bereits erwähnten Besuch des Kardinals BESSARION in Wien im Jahre 1460. Denn BESSARION war an Übersetzungen griechischer Literatur in hohem Maße interessiert und mit den damit verbundenen Problemen vertraut – so war ja auch ARCHIMEDES durch JACOB VON CREMONA (gest. 1452) nur unzureichend übersetzt worden und gleiches galt für den Almagest, dessen völlig unzureichende Übersetzung durch den Kreter GEORGIOS VON TRAPEZUNT (1396-1486) BESSARION empört zurückgewiesen hatte, wobei deutlich war, dass es an Fachwissen fehlte. So hat BESSARION sein Anliegen an PEUERBACH und REGIOMONTAN herangetragen und ihnen vorgeschlagen, die klassischen Autoritäten doch in ihrer griechischen Ursprache zu lesen – BESSARION war bereit, die dafür erforderlichen Italienaufenthalte zu finanzieren. Als erste große Arbeit sollte dabei der Almagest des PTOLEMAIOS in Angriff genommen werden. Als PEUERBACH 1461 starb, stand man (auf Grundlage von früheren Exzerpten PEUERBACHS) mit der Arbeit im 6. Buch des Almagest. REGIOMONTAN hat PEUERBACH versprochen, diese Arbeit fortzusetzen. Zur Verwirklichung dessen ist REGIOMONTAN 1461 nach dem Tode seines Lehrers nach Italien gegangen – die „[wissg-079-747::Epitomae in Claudii Ptolemaei magnam compositionem]“, sind aber erst 1496 in [wissg-079-748::Venedig] und 1543 in Basel erschienen. – Im Zuge dieser Arbeiten hat REGIOMONTAN 1463/64 in Venedig, wie bereits erwähnt, die bis dahin verschollenen sechs Bücher der Arithmetik des DIOPHANT gefunden, und auch andere Werke, u.a. des APOLLONIOS VON PERGE. REGIOMONTAN ist wohl noch einmal – auf dem Weg eigentlich nach Ungarn – nach Wien zurückgekommen, doch gibt es darüber keinerlei nähere Nachrichten mehr. 1471 ist REGIOMONTAN nach Nürnberg gegangen, wo er mit geringen Unterbrechungen bis zu seiner Reise nach Rom blieb, auf der er im Juli 1476 gestorben ist.

Wie viele Astronomen der Frühzeit hat auch REGIOMONTAN bisweilen als Astrologe gewirkt – so stellte er 1459 das [wissg-079-749::Horoskop] für Maximilian I.

In Nürnberg hat REGIOMONTAN durch die Munifizenz des Nürnberger Patriziers Bernhard WALTER sein eigenes Observatorium und einen eigenen Wissenschaftsverlag mit eigener Druckerei unterhalten und so zahlreiche Werke der mathematischen und astronomischen Literatur herausgeben bzw. wenigstens in Angriff nehmen können – als erstes Werk hat er 1472 die „Theoricae novae planetarum“ PEUERBACHS herausgebracht. Das von REGIOMONTAN erstellte Verlagsprogramm ist erhalten und ist eine höchst beeindruckende Zusammenstellung der bedeutendsten Werke zu Mathematik und Astronomie. 1474 folgten REGIOMONTANS eigene [wissg-07B-853::Ephemeriden], die 900 Druckseiten umfassen und die Jahre 1475-1506 beinhalteten. Diese Ephemeriden wurden durch Jahrhunderte benutzt; KOLUMBUS hat sie auf seinen Fahrten benützt – sein Handexemplar mit seinen Notizen ist uns noch erhalten. Und Amerigo VESPUCCI hat mit ihrer Hilfe 1499 die Längendifferenz zwischen Nürnberg (für das die

[113] Es handelte sich um den natürlich noch nicht so benannten HALLEYschen Kometen.

Ephemeride gilt) und Venezuela mit ca. 5,5 Stunden (à 15 Grad) berechnet (de facto 4,5 – 5,5, da unbekannt ist, wo in Venezuela gemessen wurde). VESPUCCI gelang dies unter Verwendung der jeweiligen Ortszeit, indem er die Differenz aus der Konjunktion von Mars und Mond um Mitternacht laut Ephemeride und der von ihm in Venezuela beobachteten Position errechnete.

Mit der Bearbeitung des Almagest hat REGIOMONTAN – wenn auch nicht mit sofortiger Wirksamkeit – die Kenntnis von der Lehre des PTOLEMAIOS auf neue Grundlagen gestellt. Er hat damit die Basis erstellt, auf der KOPERNIKUS und GALILEI ihre Systeme entwerfen sollten.

REGIOMONTAN ist breiten Kreisen des 15.-18. Jhs durch seine **lateinischen und deutschen Kalender** bekannt gewesen, die fast 300 Jahre unter seinem Namen fortgesetzt worden sind[114].

Ähnlich wie in Bezug auf ROGER BACON ist es auch bezüglich REGIOMONTANs zur Ausgestaltung verschiedener Fabeln um seine Person gekommen – er habe eine eiserne Fliege konstruiert, die von seiner Hand aus geflogen und zurückgekehrt sei; er habe einen hölzernen Adler gebaut, den er Kaiser FRIEDRICH III. bei dessen Einzug in Nürnberg entgegengesandt habe etc.

Die Bedeutung REGIOMONTANs liegt

1. in der wesentlichen Verbesserung der Beobachtungs- und Messgenauigkeit durch die intensive Beschäftigung mit den astronomischen Geräten unter der Anleitung PEUERBACHs – er führt diesbezüglich die Bemühungen JOHANN VON GMUNDENs und PEUERBACHs zu einem vorläufigen Abschluss; erst Tycho BRAHE wird weiter, bis an die Grenze der beobachtenden Astronomie ohne Teleskop gelangen.
2. in seinen mathematischen Fortschritten in der Trigonometrie. Aus den astronomisch-mathematischen Aufgaben, die REGIOMONTAN mit BIANCHINI in Ferrara wechselte, wissen wir, dass er möglicherweise sogar kubische Gleichungen zu lösen im Stande war; jedenfalls war er BIANCHINI mathematisch überlegen.
3. hat REGIOMONTAN in Fortführung der Bemühungen und Anregungen seines Lehrers PEUERBACH zeitlebens sich um die Eruierung, Sammlung, kritische Bearbeitung und Kommentierung der klassischen Literatur zur Mathematik und zur Astronomie bemüht; ihm war die erste brauchbare Ausgabe des bis dahin nur durch Verballhornungen bekannten und teilweise unverständlichen Almagest des PTOLEMAIOS zu verdanken.

Auf Grund der engen Zusammenarbeit zwischen REGIOMONTAN und PEUERBACH sind deren Leistungen nicht immer eindeutig auseinanderzuhalten – PEUERBACH schrieb die moderneren Zahlzeichen und bediente sich astronomischer Symbole, während REGIOMONTAN ältere Ziffernformen schrieb und die astronomischen Begriffe verbal ausformulierte.

Die Wiener mathematische Schule des 15. Jhs – JOHANN VON GMUNDEN, Georg Aunpeckh von PEUERBACH und REGIOMONTAN – hat maßgeblich, ja in erster Linie beigetragen zur Zusammenfassung des astronomischen und mathematischen Wissens überhaupt und zur Erstellung moderner, exakterer Tabellenwerke. Sie hat damit – in Zusammenarbeit auch mit Gelehrten wie BIANCHINI in Ferrara und in Padua und mit dem Polen Martin ILKUSCH in Krakau bzw. am ungarischen Hofe des MATTHIAS CORVINUS – die Grundlage geschaffen für die eigenständige, originäre astronomische Forschung.

Als bezeichnend für die Situation sei hier erwähnt, dass PEUERBACH und REGIOMONTAN eine Abweichung von nur 2 Grad bei der Beobachtung des Mars als eine unzumutbare Ungenauigkeit verurteilt haben – und dies, obgleich sie weder ein Fernrohr noch eine zutreffende Kenntnis vom Bau des Sonnensystems hatten.

3.2.1.1 WIEN NACH REGIOMONTAN

Mit REGIOMONTAN bricht die mathematische Hochblüte in Wien eigentlich ab, auch wenn in einer zweiten mathematischen Schule um den Beginn des 16. Jhs noch durchaus ernsthafte Bemühungen um die Mathematik unternommen worden sind.

Der Usus der Fachprofessur, wie er sich schon bei JOHANN VON GMUNDEN herausgebildet hatte, ist schon nach dessen Tod wieder abgekommen, denn sowohl PEUERBACH als auch REGIOMONTAN haben auch andere als mathematische Vorlesungen gehalten.

---

[114] S. dazu das Faksimile unter Kalender [http://www.univie.ac.at/hwastro/books/regioColMed.pdf::in Farbe] und [http://www.univie.ac.at/hwastro/books/regioBWLow.pdf::in S/W]

Die Universität Wien hat von der Mitte des 15. Jhs. bis in die Zeit MAXIMILIANs I. einen starken Verfall durchgemacht. Die mathematische und auch die astronomische Tradition der Universität Wien hat damals bewusst die Universität in Krakau übernommen, die bis in das 16. Jh hinein enge Beziehungen zu Wien unterhalten hat.

Erst MAXIMILIAN hat mit seinen Bemühungen, Konrad CELTIS nach Wien zu bringen im Zusammenhang mit der Entscheidung für die Realien (gegen die philologische, italienische Ausrichtung) eine Wiederbelebung im Bereich vor allem der Mathematik herbeigeführt. 1497 ist CELTIS nach Wien gekommen, 1502 wurde das berühmte **Collegium poetarum et mathematicorum** begründet, das wohl bis in den Beginn der 1520er Jahre bestanden hat, das einen besonders fortschrittlichen Teil der Artesfakultät ausmachen sollte und dafür eine Reihe von Professuren erhielt; der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung stand Johannes STABIUS vor, der sich vornehmlich mit Kartographie beschäftigt hat. Die eigenständigen Leistungen waren aber eher gering, wenn man von Bemühungen um die Herausgabe bedeutender mathematischer Werke im Druck absieht.

Georg Tanstetter (1480-1530)
Georg TANSTETTER, lat. Collimitius, hat sich diesbezüglich mit den Wiener Druckern Leonhard und Lucas ALANTSEE zusammengetan. In dieser Reihe mathematischer Druckwerke sind nun die wichtigsten Schriften der Wiener mathematischen Schule sowie die angesehensten im Spätmittelalter in Gebrauch stehenden Lehrbücher erschienen. Damit ist auch zur Verbreitung der Leistungen des REGIOMONTAN beigetragen worden, dessen Schriften ja längst nicht alle zu dessen Lebzeiten verbreitet worden sind. TANSTETTER hat einige bedeutende Schüler gehabt; so

Johann Vögelin
der durch sein **Elementale geometricum ex Euclidis geometria** aus dem Jahre 1528 hervortreten sollte, durch das VÖGELIN den Stellenwert der Geometrie als Lehrfach wesentlich anhob.

Heinrich Schreiber
Heinrich SCHREIBER, lat. Grammateus, ist aus Krakau nach Wien zu TANSTETTER gekommen; er hatte damals bereits einen „Algorismus proportionum“ verfasst. Nach seiner Wiener Zeit hat er 1523 in Erfurt sein in Wien erarbeitetes deutsches Rechenbuch herausgebracht: „Ayn new künstlich Buech welches gar gewiss und behend lernet nach der gemainen regel Detre, welschen practic, regeln falsi und etlichen regeln Cosse mancherley schöne und notürfftig rechnung auff kauffmannschafft /.../ Gemacht auf der löblichen hoen schul zu Wienn in Osterreich /.../". SCHREIBER hat als erster deutscher Autor bei der Aufzählung der Rechnungsarten die Verdoppelung und die Halbierung weggelassen, da sie in Multiplikation und Division enthalten seien. Er verwendet in der Regeldetri Buchstaben, allgemein die heute üblichen Zeichen für Plus und Minus; in der Buchhaltungslehre, die er als erster deutscher Autor bringt, verwendet er die Begriffe Journal (Zornal – venezianisch!) und Kassabuch (Kaps – das in einer Kapsel aufbewahrte Kassabuch).

Am Ende dieses Traditionsstranges ist noch

Christof Rudolff
zu nennen, der SCHREIBERs Schüler gewesen ist und lange offenbar in Wien gelebt hat. Christof RUDOLFF hat eine vielbenützte Coss herausgegeben, in der erstmals der Begriff **Million** verwendet wird; RUDOLFF war nahe daran, den **Dezimalbruch** zu erfinden (1,3745 z.B.), wenn er angab, man solle soviele Ziffern, wie der Divisor Nullen besitze, mit einer "**Virgel**" (das neuzeitliche Komma in der Funktion des „Dezimalpunktes“) abschneiden.

An der Universität Wien ist die Regelung mit den zwei Mathematikprofessuren beibehalten und dahingehend verfeinert worden, dass der zweite Lehrstuhl der "höheren" Mathematik vorbehalten wurde. Es ist – zumal die Professoren dieses Faches zumeist Mediziner waren – im 16. Jh nach dem Ausklingen der zweiten mathematischen Schule nach dem Tode TANSTETTERs im Jahre 1530 nichts eigenständiges mehr geleistet und auch nicht das alte Niveau bewahrt worden, wie ja die Universität zunehmend in Verfall geraten ist, den auch FERDINANDS I. Bemühungen nicht wirklich aufhalten konnten, weshalb er die Jesuiten in die Stadt holte, die die Universität 1623 von FERDINAND II. übertragen erhalten sollten.

3.2.2 Mathematik im 15. und 16. Jahrhundert außerhalb der Wiener Schule

Neben Nikolaus von KUES sind es vor allem Italiener und Franzosen, die die Entwicklung der Mathematik vorantreiben. In Italien wird die Perspektive entwickelt, was für die Entwicklung der Raumvorstellung wesentlich ist, zu der in der Mathematik führenden Universität entwickelt sich Bologna, wo an der Wende vom 15. zum 16. Jh eine Reihe führender Mathematiker lehrte – u.a. PACIOLO, NOVARA als Astronom und Scipione DEL FERRO; als Student in Bologna ist natürlich KOPERNIKUS zu erwähnen, der in den Matrikeln als „*Nicolaus Kooperlingk*“ aus Thorn eingetragen ist.

Im 16. Jh tragen dann die deutschen Cossisten maßgeblich zur praktischen Umsetzung der Mathematik einschließlich der Entwicklung hin zu den Logarithmen, aber auch zu deren theoretischer Entwicklung bei.

Zur Entwicklung der Perspektive

Im Übergang zur Neuzeit wird in Italien ein bedeutender Beitrag nicht nur zur Geometrie, sondern zur optischen Erfassung der Welt erbracht in der Entwicklung der [wissg-07B-796::Perspektive]. GIOTTO (1267-1336) stellte als Erster Figuren in eine Architektur oder Landschaft, bringt den Raum in das Bild. Filippo BRUNELLESCHI (1377-1446), der Erbauer der Kuppel des Doms von Florenz, fertigte – leider nicht erhaltene – perspektivische Zeichnungen an, die uns relativ genau geschildert sind. Er brachte die Kunst der perspektivischen Darstellung seinem Freund, dem Maler MASACCIO bei, von dem derartige Bilder erhalten sind: die berühmten [wissg-07B-797::Fresken] in Santa Maria Novella in Florenz (um 1425).

Es hatte zwar bereits in der Antike perspektivisch einigermaßen korrekte Fresken mit scheinarchitektonischer Wirkung gegeben (Pompej), doch war das Wissen darum und um die Konstruktion derartiger Bilder wieder verloren gegangen. 1436 hat in Anschluss an BRUNELLESCHI der vielseitige Architekt Leon Battista ALBERTI (1404-1472) in seiner Schrift "Della pittura" die Theorie der Perspektive geliefert. Ihr liegt die Annahme von geradlinigen Sehstrahlen zugrunde[115], wichtig ist der Zentralstrahl, der die Bildebene senkrecht trifft. Die Einführung des Begriffes Bildebene ist höchst bedeutsam: ALBERTI versteht das Bild als Projektion räumlicher Verhältnisse auf eine Ebene und bedient sich dazu eines Schleiers mit Quadraten stärkerer eingewebter Fäden – DÜRER verwendet bereits eine Glasplatte mit einem Raster aus Tuschlinien. Alles Sehen, bzw. alles optisch Wahrgenommene wird (in geradezu platonischer Manier) als Bildung von Dreiecken verstanden, deren Grundlinie die gesehene Strecke und deren Schenkel die beiden Sehstrahlen sind. ALBERTI handelte letztlich als Maler; die mathematischen Beweise gab dann der Mathematiker

Piero della Francesca (1420-1492)

in "De prospectiva pingendi". Piero DELLA FRANCESCA schrieb auch über die platonischen Körper, aber überhaupt auch zu mathematischen Themen[116], so einen „Trattato de abaco“ 1470/80 mit einer Fülle von arithmetischen und geometrischen Aufgaben, und war ein Lehrer des Luca PACIOLO.

Aus dieser Entwicklung, die mit einer tiefgehenden Veränderung räumlicher Wahrnehmung und räumlichen Bewusstseins verbunden ist, geht das Konstruktionswesen in mathematisch-technischer Hinsicht hervor, wie es für das Befestigungswesen (Festungsbaumeister, Ingenieure), aber auch für die Architektur verwendet wurde – es gab zwar auch früher schon die Proportionen nach dem Goldenen Schnitt etc., doch die Fertigkeit der perspektivischen Konstruktion beherrschte man noch nicht.

In diesem Zusammenhang sind auch zu nennen

Matthäus RORICZER (1463– 1492/95), ein Nürnberger Baumeister, mit seinem „Puechlen der fialen gerechtigkeit“, in dem er 1486 die Maßverhältnisse für den Bau gotischer Fialen angibt, und das er beim Bau des Doms von Regensburg benutzte. Er verfasste aber auch eine „Geometria deutsch“ 1487/88, die aus neun Aufgaben besteht,

und

---

115 Wobei ALBERTI sagt, es sei gleichgültig, ob diese vom Auge ausgingen oder vom Objekt.

116 Er dürfte die hypertropheste Systemisierung von Gleichungen vorgenommen haben, als er deren 61 Klassen feststellte – s. Allard, The influence of Arabic mathematics in the medieval West. In: EHAS II 539-580, 563.

Albrecht DÜRER (1471-1528) mit seiner [wissg-07B-799::„Vnderweysung der messung“], in der er die Neuerungen sogar – wie LEONARDO DA VINCI auch – auf die menschliche Anatomie anwendet.

Nikolaus von Kues (1401-1464)
Nikolaus von KUES war einer der originellsten Mathematiker des 15. Jhs und ein außerordentlich lucider Geist. Er hat allerdings derartig viele Agenden betrieben[117], dass er als Mathematiker nicht zu der Entfaltung gekommen ist, deren er vermutlich fähig gewesen wäre. In seinem Hauptwerk

- **De docta ignorantia**, behandelt er Fragen der Metaphysik, der Kosmologie und des Glaubens unter dem Aspekt der *coincidentia oppositorum*, dem Zusammenfallen der Gegensätze, das in Gott gegeben ist, weil Gott *in actu* alles sein könne. So entwickelt er Vorstellungen bezüglich des Kleinsten, Größten, des Unendlichen in Bezug auf die Zahlen; eine Zahl allerdings bleibe – wie groß oder klein sie sein möge – immer begrenzt: „*wenn einer sagt es habe unendlich viele Sonnenumläufe bisher gegeben, dann wären es im nächsten Jahr Unendlich + 1 Umläufe – das ist unmöglich*.“ Eine unendliche Gerade wäre gleichzeitig auch Dreieck und Kreis – Dreieck deshalb weil mehrere Unendlichkeiten (für die einzelnen Seiten des Dreiecks) nicht möglich sind, u.a.m. Wirklich unendlich sei nur Gott, der deshalb unerkennbar sei, so wie auch das Wahre nicht erkennbar sei, weil es sich dem Vergleich entziehe, der allein Erkenntnis ermögliche. "*Alle, die etwas untersuchen, beurteilen das Ungewisse im Vergleich und gemäß seinem Verhältnis zu einem als gewiß Vorausgesetzten; also ist jede Untersuchung ein Vergleich, der sich eines Verhältnisses als Mittel bedient.* [...] *Deshalb ist das Unendliche als Unendliches, da es sich jeder Verhältnisbeziehung entzieht, unbekannt.*" Im Unendlichen sei vieles anders als im Endlichen, das müsse man einmal einsehen und anerkennen, dann erst sei eine mathematische Untersuchung denkbar.
- **De Beryllo**, Über den Beryll bzw. die (geistige) Brille, beschäftigt sich mit dem Problem des Punktes im Verhältnis zu Flächen und Körpern; der Punkt ist unteilbar, denn auch eine Linie kann nur in Linien unterteilt werden, nicht in Punkte, analog die Oberfläche.

Zehn Jahre lang hat sich KUES mit der **Arcufication von Geraden** beschäftigt, indem er den Kreis als Summe der Seiten eines Unendlichvielecks interpretiert, wobei er sich natürlich eingehend mit dem Problem π befasst und über die Bestimmung des Wertes als zwischen 3 1/7 und 3 10/71 gegeben hinauszukommen suchte.

Dem Unendlichvieleck hat KUES auch seine letzte und als (mathematisch) beste eingeschätzte Arbeit

- **De mathematica perfectione** gewidmet.

Piero della Francesca (1420-1492)
Trattato de abaco 1470/80 mit einer Fülle von arithmetischen und geometrischen Aufgaben.

Nicolas Chuquet (1445/1455 – 1488/1500)
CHUQUET war ein Pariser Bakkalaureus der Medizin, arbeitete aber zeitweise offenbar als Schreibmeister und Kopist; er lebte länger in Lyon, wo starker italienischer Einfluss – es gab dort seit 1466 eine Filiale der Banca di Medici – wirksam war, was sich zweifellos auch auf CHUQUET ausgewirkt hat, der in Lyon als Mathematiker registriert war. CHUQUET war ein brillanter Algebraiker, der seiner Zeit weit voraus war; mit

- **Triparty en la science des nombres**, (ist die erste französische Algebra, entstanden vor 1488) schuf er die französische Terminologie vor allem hinsichtlich der hohen Zahlen wie Million, Milliarde, Billion (*million*, *byllion*, *tryllion*, *quadrillion* etc.)[118], ([wissg-079-755::Auszug aus dem Original I]) – Die ersten Ansätze für die Standardisierung der hohen Zahlen war durch JEHAN ADAM 1475 vorgenommen worden; der Begriff Million ist im Französischen alt und wurde offensichtlich vom Italienischen *millione* als einer Intensivierung von *mille* übernommen; dieses Wort bildete dann die

---

117 Von KUES stammen auch eindrucksvolle philosophische Dialoge wie z.B. „Idiota de mente“, „Idiota de spaientia“ u.a..

118 „*Item lon doit savoir que ung million vault mille milliers de unitez, et ung byllion vault mille milliers de millions, et [ung] tryllion vault mille milliers de byllions, et ung quadrillion vault mille milliers de tryllions et ainsi des aultres : Et de ce en est pose ung exemple nombre divise et punctoye ainsi que devant est dit, tout lequel nombre monte 745324 tryllions 804300 byllions 700023 millions 654321. Exemple : 745324'8043000'700023'654321. dazu auch* S. dazu auch [http://en.wikipedia.org/wiki/Names of large numbers::Wikipedia] , und
das [http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Chuquet.html::Mac Tutor Archive]

Basis für die weiteren Wortbildungen für die Potenzen von einer Million – dieses System ist verschiedentlich auch als CHUQUETs System bezeichnet worden. Es ist um 1550 durch Jacques PELETIER DU MANS abgeändert worden im Sinne der Potenzen von 10^6, wodurch der Begriff Milliarde eingeführt wurde – dieses System ist dann (als heute noch gültig) in Deutschland und in England eingeführt worden; in den USA wurde ein spezifisches System entwickelt. CHUQUET modernisierte überhaupt die Schreibweise, vor allem hinsichtlich der Exponenten; er war wohl der Erste, der 0 und negative Zahlen als Exponenten verwendete. Das Manuskript wurde zwar erst 1870 wieder entdeckt und 1880 gedruckt, wurde aber dennoch sehr viel verwendet, weil es 1520 in ein Lehrbuch des Estienne de LA ROCHE eingefügt wurde, das bis 1870 als die älteste französische Algebra galt und weite Verbreitung gefunden hatte (ähnlich ist LA ROCHE mit PACIOLO umgegangen); allerdings hat LA ROCHE die schwierigsten und wertvollsten Aspekte CHUQUETs nicht übernommen, nämlich die Null als Exponent, nicht die negativen Exponenten und schwierigere Aspekte der Gleichungslehre; in so ferne war eine gerechte Bewertung der Leistungen CHUQUETs erst an der Wende zum 20. Jh möglich. Der erste Teil des Werkes beinhaltet die Arithmetik einschließlich des Einmaleins (**Abb. Aus Cantor II/1 349**), der Grundrechenregeln, der Brüche und schließlich, was den bedeutendsten Teil des Werkes ausmacht, vergleichend die arithmetischen und geometrischen Reihen (die Überlegungen weisen bereits in Richtung Logarithmen); weiters wird von den perfekten Zahlen[119], der Regeldetri und von den Mittelwerten gehandelt – für alle diese Bereiche gibt Chuquet französische Termini an. Der zweite Teil handelt von den irrationalen Zahlen, wesentlich in Zusammenhang mit den Wurzeln (als Zeichen verwendet CHUQUET ein „R“ mit Schrägstrich – für *radix* bzw. *racine* – und hochgestellter Ordnungszahl), für die er Rechenregeln erarbeitet. Der dritte Teil des Werkes gibt eine hinsichtlich der Terminologie etwas eigenwillige Gleichungslehre samt dem Rechnen mit Exponentialzahlen, wobei vier Gleichungs-Grundformen (*canons*) und für quadratische Gleichungen zwei Lösungen diskutiert werden; in einer Aufgabe gelangt CHUQUET sogar zu einer imaginären Lösung[120]! – CHUQUET hat ORESMEs Werk, wo 100 Jahre zuvor bereits mit gebrochenen Exponenten gerechnet wird, ganz offensichtlich nicht gekannt und hängt von italienischen Vorbildern ab.

– Seine **Géométrie,** 1484, fasste den damaligen Wissensstand zusammen: Flächenberechnungen von Dreiecken, Vierecken und aus Geraden und Kreisbögen zusammengesetzte Figuren, Oberflächen- und Volumsberechnungen von Kugel, Kegel, Pyramide; Vermessungsanweisungen mit dem Quadranten, Berechnungsaufgaben, die in die Algebra übergehen. Fassrechnung, Suchen des verlorenen Mittelpunktes eines Kreises, Konstruktionen, die über RORICZER weit hinausgehen etc.

Luca Paciolo de Borgo (1445-1514)

PACIOLO, auch de Pacioli; ein italienischer Franziskaner, der direkt auf FIBONACCI zurückgreift. Er war mit Piero DELLA FRANCESCA und in Mailand eng mit LEONARDO DA VINCI befreundet und wollte 1474 im Druckwesen mit REGIOMONTAN zusammenarbeiten. Er lebte längere Zeit in Venedig, u.a. auch im Hause ALBERTIs, als dieser sich in Venedig aufhielt. Nach seinem Ordenseintritt zwischen 1470 und 1476 lehrte er unterschiedlich lange an einer Fülle von italienischen Städten, sodass er fast als ein Wanderlehrer zu bezeichnen ist. – PACIOLOs Porträt zierte früher die italienische 500-Lire-Münze.

– **Summa de Arithmetica Geometria Proportioni et Proportionalita**, „*Summa des Paciolo*“, dieses Werk ist aus mehreren frühen Lehrbüchern PACIOLOs von diesem kompiliert und 1494 in Venedig gedruckt worden; es ist eine italienischsprachige große Zusammenfassung. Das Werk besteht aus fünf Teilen, wobei der erste Teil die Arithmetik und der fünfte Teil die Geometrie behandelt, während die dazwischenliegenden Teile 2-4 kaufmännische Rechenaufgaben bieten. PACIOLO vereinfacht die Systematik (z.B. scheidet er die *dublatio* und die *mediatio* aus, da sie im Multiplizieren und Dividieren enthalten sind); gibt eine Fülle von Rechenmethoden an (allein deren acht für die Multiplikation), darunter auch Verfahren zum Wurzelziehen (eingeschränkt auch für die Kubikwurzel), gibt Regeln wie + x + = +; + x – = – etc. Die Regeln werden meist in lateinischen Hexametern hervorgehoben. **Zwei Aufgaben in diesem Werk müssen als die ersten bekannten**

[119] Perfekte Zahlen sind Zahlen, deren Teiler summiert wieder die Zahl ergeben; z.B.: 6 = 1+2+3; 28 = 7+4+2+14+1 = 28.

[120] Diese Aufgabe fordert, jene zwei Zahlen zu finden, deren Summe die dritte Wurzel aus 72 und deren Produkt die Wurzel aus 60 sei.

Wahrscheinlichkeitsrechnungen in einem mathematischen Lehrbuch gelten, überhaupt müssen einige Rechenaufgaben als heute noch schwierig bezeichnet werden; bei den Potenzen schreitet er bis zur 29. Potenz vor! Das Werk gibt sogar Gewichts- und Münzvergleichstafeln für den diesbezüglich außerordentlich reichhaltigen italienischen Raum.

– **De divina proportione** handelt in drei relativ unabhängigen Teilen ausführlichst vom Goldenen Schnitt[121], der in der Architektur wie in der Malerei eine große Rolle spielt(e); das Werk ist Ludovico SFORZA gewidmet und geht von den platonischen Körpern aus und behandelt nach eingehender geometrisch-mathematischer Darstellung im weiteren das Thema an Hand von VITRUVs Ableitung architektonischer Proportionen vom menschlichen Körper, wozu LEONARDO DA VINCI, der „*mit seiner unvergleichlichen linken Hand*" (wie PACIOLO feststellt) nicht weniger als 60 Illustrationen des Werkes geschaffen hat; in diesem Zusammenhang ist auch die berühmte, für 1492 nachweisbare, [wissg-079-758::Darstellung] durch LEONARDO DA VINCI zu sehen. Es enthält natürlich auch weitreichende Zahlenmystik bis hin zur Analogie zur Trinität u.a.m.
– PACIOLO hat 1509 in Venedig eine EUKLID-Ausgabe besorgt,

Von ihm stammen aber auch andere Schriften; darunter der

– **Trattato di partita doppia**, Venedig 1494; es ist dies die erste Abhandlung über die doppelte Buchhaltung, in der bereits zwischen dem Grundbuch mit der chronologischen Aufzeichnung der Geschäftsgänge und dem Hauptbuch mit der sachorientierten Ordnung der Vorgänge unterschieden wird.

Sowohl CHUQUET als auch PACIOLO sind im 16. Jh vielfach verwendet und ausgeschrieben worden – vor allem durch Franzosen und Spanier, auch Portugiesen. Es entsteht ein immer dichter werdender Filz von Werken, die in unterschiedlichen Abhängigkeiten zueinander stehen. Erwähnt seien hier nur Charles de BOUVELLES (1470-1533), der sich u.a. als Erster nach KUES wieder mit der Zykloide und auch mit Sternvielecken beschäftigt hat, sowie Pedro NUNEZ (Nonius[122], 1492-1577), der sich mit mathematisch-astronomischen Fragen – Dämmerungszeit etc. – befasste und in seiner Schrift „De arte ateque ratione navigandi" die dann von Willebrord SNELLIUS (1580-1626) benannten Loxodrome[123] behandelte.

Francesco Maurolico (1494-1575)

MAUROLICO entstammte einer geflohenen byzantinischen Familie (sein Vater war Arzt am Kaiserhof gewesen), die in Messina lebte, und war Abt eines Benediktinerklosters und Professor an der Universität in Messina und als Mathematiker, Astronom, Physiker, Historiker und Ingenieur im Fortifikationswesen tätig; er korrespondierte mit CLAVIUS und COMMANDINO, beobachtete wie Tycho BRAHE auch 1572 die Supernova in der Cassiopeia. Er hat eine Reihe von antiken Mathematikern neu herausgegeben (u.a. EUKLID, ARCHIMEDES und APOLLONIOS VON PERGE) und betätigte sich auch als Logiker – als solcher hat er in seinem Werk

– **Arithmeticorum libri duo**, 1575, den ersten Beweis mit Hilfe der vollständigen Induktion durchgeführt, welches Verfahren erst von Blaise PASCAL und Piere FERMAT intensiver und bis auf Gottlieb FREGE (1879) nur für arithmetische Probleme benützt worden ist[124]. MAUROLICO hat damit wesentliche Grundprobleme der Zahlentheorie und der Fundierung der Arithmetik berührt.

Besondere Anerkennung hat MAUROLICO auch als Optiker erfahren. Seine Arbeiten sind allerdings z.T. nie publiziert worden.

---

121 Als Goldener Schnitt (*proportio divina, sectio aurea, stetige Teilung*) bezeichnet man die Teilung einer Strecke in der Weise dass sich a zu b verhalte wie (a+b) zu a, was in etwa ein Verhältnis von 1 : 1,618 ergibt, das mit ψ bezeichnet wird. Vgl. dazu Mario Livio, The Golden Ratio. The Story of Phi, the World's Most Astonishing Number, New York 2002. Dort über PACIOLO 128-137.

122 Nach ihm ist (fälschlich!) der erst 1631 von Pierre VERNIER erfundene Nonius zur Teilung von Strecken benannt.

123 Die Loxodrome – auch *Kursgleiche*, *Winkelgleiche* oder *Kurve konstanten Kurses* genannt – ist eine Linie, die alle Meridiane unter demselben Winkel schneidet und damit die navigatorisch günstigste Verbindung zwischen zwei Orten auf einer Kugel darstellt. Bei Schnittwinkeln größer 0° und kleiner 90° ist die Loxodrome nicht geschlossen; sie windet sich unendlich oft spiralförmig um die Erde herum und nähert sich dabei den Polen an, ohne sie zu erreichen. S. das Modell unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Loxodrome::Wikepedia]

124 Die vollständige Induktion ist zwar ein Schließen vom Speziellen auf das Allgemeine, ist aber letztlich dennoch ein deduktives Verfahren.

3.2.2.1 DIE COSS

Gleichzeitig wird in Deutschland das praktische Rechnen vorangetrieben – die Coß[125]. Die Coß stellte eine etwas höhere Stufe der Rechenbücher, der Rechenmeisterei dar. Die Cossisten beschäftigten sich mit dem algebraischen Rechnen. Auch die Coss ist im Wesentlichen von Oberitalien ausgegangen, von dort nach Frankreich und Deutschland etc. verbreitet worden.

Im Verlauf des 15. Jhs schon sind nicht unerhebliche Anforderungen gesellschaftlicher bzw. wirtschaftlicher Natur an die Mathematik gestellt worden – einmal durch die Entwicklung der Geldwirtschaft und der doppelten (italienischen) Buchhaltung in einem Raum mit unzähligen unterschiedlichen und stets schwankenden Währungen, andererseits aber auch durch die Architektur und die Perspektive. Das kaufmännische Rechnen ist vor allem im italienisch-französischen Raum ausgebildet worden, weshalb auch die meisten Begriffe dieses Bereichs aus diesen Sprachen stammen; wie die Begriffe Journal, Saldo, Diskont, Giro, Bilanz, Kredit, Valuta, tara, netto, brutto, Konto und Bankrott bezeugen. Es haben diese Bereiche zwar Mathematik nur bis zu einem bestimmten Grad erfordert, dafür war aber die rasche und sichere Beherrschung der Rechenvorgänge eine *conditio sine qua non*. Deshalb entstanden auch Schulen bzw. Lehrbücher der "*practica welsch*", also der Buchhaltung und des kaufmännischen Rechnens, das in der Regel aus Regeldetri (Dreisatz, Schlussrechnung), Zinsrechnung, Umrechnen verschiedener Währungen und Raum- und Flächenmaße bestand. Dementsprechend entstand im 16. Jh eine Flut von "Rechenbüchlein" verschiedenster Rechenmeister, die zumeist zwei verschiedene Rechenarten vermittelten: das Rechnen mit Hilfe des Abacus („*auf den Linien*“) für jene, die nicht Lesen und Schreiben konnten, und das zunehmend algebraisierte schriftliche Rechnen („*auf den Linien und mit der Feder*“ (s.w.u. RIES). Zu nennen sind

Christoph Rudolff ()
(s.o.) ein Schüler SCHREIBERS in Wien; RUDOLFF erläutert 1520 in seiner Schrift „[http://www.ub.uni-bielefeld.de/diglib/rechenbuecher/coss/::Deutsche Coss]“ (sie wird 1553 von STIFEL überarbeitet) das System der Potenzen bis "*cubus de cubo*" = x^9, das Wurzelzeichen (noch ohne den horizontalen Balken) einführt und den Begriff „Million“ verwendet,

Adam Ries (1492 – 1559)
Adam RIES war in seinen späteren Jahren kurfürstlich sächsischer Hofmathematicus, der durch eine Fülle von Publikationen mit vielen Aufgaben vor allem im Erzgebirge zur Verbreitung der Algebra und des kaufmännischen Rechnens beigetragen hat und auf den nicht nur die sprichwörtliche Berufung „*nach Adam Riese*“ zurückweist, sondern auch die heute noch übliche Multipliziermethode zurückgeht, die die Methode der arabischen "Netzmultiplikation" ablöste (auf die man allerdings im 17. Jh im Zuge der Mechanisierung des Rechnens wieder zurückgegriffen hat (NAPIERS Bones[126], die [wissg-07B-803::Rhabdologien] etc.). RIES hat den Anforderungen der Zeit entsprechend ganz verschieden geartete Rechenbücher geschrieben:

- **Rechnung auff der linihen,** 1518, ausdrücklich für Kinder bestimmt und
- **Rechnung auff der linihen und federn**, 1522, für junge Kaufleute und Handwerker bestimmt, dieses [wissg-079-759::Werk] erlebte mindestens 114 weitere Auflagen,
- **Coss**, eine Algebra im damals üblichen Sinne,
- **Ein Gerechent Büchlein/ auff den Schöffel vnd Pfundtgewicht...** 1533, gedruckt 1536, ist ein auf die tägliche Praxis ausgerichtetes Buch mit Tabellen für die Berechnung von Preisen etc., nach RIES' Vorwort Ratgeber, der hilft, „*daß der arme gemeine man ym Brotkauff nicht vbersezt würde*“, weshalb das Werk auch als „Annaberger Brotordnung“ bekannt geworden ist.
- **Rechenung nach der lenge auff den Linihen vnd Feder**, 1550, wird oft unter dem Kurztitel „Practica“ zitiert (darin findet sich das einzige zeitgenössische Bild von RIES).

---

[125] Im Spätmittelalter ist die Unbekannte x als *causa*, im Deutschen verballhornt als *coß* bezeichnet worden, wovon der der Begriff "Cossisten" für die Rechenmeister abgeleitet worden ist, die auch mit praktischen Berechnungen sich beschäftigt haben.

[126] S. dazu: [http://www.cee.hw.ac.uk/~greg/calculators/napier/simulation.html]

Michael Stifel (1487-1567)
STIFEL (auch Stiefel, Styffel etc.) war Theologe und Reformator an der Seite LUTHERs und Mathematiker. Er war an verschiedensten Orten tätig, u.a. auch in Oberösterreich und in Tirol, STIFEL hat (neben anderen, weniger bedeutenden praktisch orientierten Werken) 1544 die wichtige

- **Arithmetica integra** herausgebracht, die europaweiten Einfluss ausgeübt hat; als offenbar Erster hat er dezidiert angegeben, dass negative Zahlen kleiner seien als Null; das Werk enthält (die nach Peter APIAN in dessen „Arithmetik" von 1527 zweite) Darstellung eines PASCALschen Dreiecks mit Binomialkoeffizienten im europäischen Raum. 1545 folgt eine Deutsche Arithmetik. Im Anschluss an den ersten deutschen algebraischen Autor Johann WIDMANN hat STIFEL die Zeichen + und – angewendet (s.u.).

STIFEL nimmt (dazu w.u.) mit seinen Zahlenreihen im Zusammenhang mit der Entwicklung der Logarithmen eine sehr bedeutende Position ein, ist sogar gelegentlich als deren Erfinder bezeichnet worden. Er stellte allerdings auch kabbalistische Berechnungen an Hand der Bibel an und sagte den Weltuntergang für den 8. 10. 1533 um 8 Uhr morgens voraus, wofür er inhaftiert wurde (und worauf die Redewendung „*einen Sti(e)fel zusammenrechnen*" zurückgeht).

Die Rechenmeister haben einerseits maßgeblich zur Ausweitung des praktischen Rechnens, andererseits aber doch auch zur Entwicklung der Algebra beigetragen. RUDOLFF und STIFEL beeinflussten über Deutschland hinaus auch England, wo Robert RECORDE (1510-1558) führend ist. So vollzogen sich im Verlaufe des 16. Jhs langsam die Verdrängung des Abacus-Rechnens und die Algebraisierung des Rechnens.

Für die Weiterentwicklung der Mathematik erwiesen sich die Einführung einer moderneren und einfacheren algebraischen Schreibweise, wie sie im ausgehenden 15. und im 16. Jh aufkommt, und die Einführung der Dezimalbrüche als von großer Bedeutung.

3.2.2.2 DIE MODERNISIERUNG DER MODERNEREN MATHEMATISCHEN SCHREIBWEISE

Luca PACIOLO hat 1494 in seine „Summa de Arithmetica …" p für piu = plus, m für meno = minus und R für Radix = Wurzel gesetzt. In der Coss von Christoph RUDOLFF wird 1525 erstmals der Begriff Million verwendet; auch nähert sich RUDOLFF dem Dezimalbruch, wenn er angibt, man solle bei einer Division soviele Stellen, wie der Divisor Nullen besitzt, „*mit einer Virgel* [Komma] *abschneiden*".

Im Anschluss an den ersten deutschen algebraischen Autor Johann WIDMANN hat STIFEL die Zeichen „+" und „–„ angewendet (das Pluszeichen + ist vermutlich aus dem „&" für „et" entstanden, das Minuszeichen „–„ aus dem Kürzungsstrich über dem „m" (womit gekürzt das Wort „minus" geschrieben wurde), indem der Buchstabe weggelassen und nur mehr der Kürzungsstrich geschrieben wurde.

Das Multiplikationszeichen "x" wird ebenso wie ":" für die Division zuerst vom Engländer William OUGHTRED (1573-1660) verwendet, der einfachere Multiplikationspunkt stammt von LEIBNIZ (ob ihn REGIOMONTAN schon verwendet hat, ist unsicher).

Der Bruchstrich findet sich schon bei FIBONACCI.

Das Wurzelzeichen war ursprünglich R (mit einem Schrägstrich durch den Abstrich) für „*radix*", dann auch nur ein Punkt, aus dem schließlich ein Haken wurde (bei RIES, STIFEL und RUDOLFF), der Balken darüber war nur ein Zeichen der Zusammenfassung von zusammengesetzten Radikanden, oft wurden dafür auch die Klammern „()" verwendet – GAUSS schreibt z.B. noch "*Haken (EG-FF)*".

Das Gleichheitszeichen „=" kommt erst 1557 durch Robert RECORDE 1557 auf.

Thomas HARRIOT (1560–1621) verwendete als erster „>" für „größer als" und „<" für „kleiner als" und führt auch in der Buchstabenalgebra anstelle der von VIETE benützten Großbuchstaben die Kleinbuchstaben ein.

3.2.2.3 EINFÜHRUNG DES DEZIMALBRUCHES

Sie ist wesentlich dem Niederländer Simon STEVIN (1548-1620), s.w.u., zu verdanken, der 1585 in seinem Buch „De Thiende" ("Die Zehnte") erläuterte, dass in einer Zahl jede Stelle ein Zehntel oder

Vielfaches eines Zehntels der vorangegangenen Stelle sei. Auf dieser Grundlage forderte er erstmals wohl ein dezimales System für Maße und Gewichte[127].

3.2.2.4 WEITERENTWICKLUNG DER ALGEBRA IM 16. JH

Es waren auch im Verlauf der ersten Hälfte des 16. Jhs erst einmal wesentlich die italienischen Algebraiker, denen besondere Bedeutung zukam, vor allem im Zusammenhang mit den Bemühungen um die Lösung kubischer Gleichungen, die in allen mathematikhistorischen Arbeiten breiten Raum einnimmt[128] und mit den Namen DEL FERRO, CARDANO, TARTAGLIA und FERRARI verbunden ist.

Scipione del Ferro (1465-1526)
Scipione DEL FERRO, auch „Ferreo", war ab 1496 Vortragender der Mathematik an der Universität Bologna, ohne in weitere akademische Belange eingebunden zu sein; es sind von ihm keine schriftlichen Aufzeichnungen überliefert, und er war hinsichtlich von Mitteilungen über seine Arbeit sehr zurückhaltend. Er führte ein Notizbuch, in dem die wichtigsten Erkenntnisse notiert waren. Dieses Notizbuch hat sein Schwiegersohn und Nachfolger an der Universität, Hannibal NAVE, übernommen, der es 1543 CARDANO und FERRARI gezeigt hat, die eigens dazu nach Bologna gekommen waren. Die außergewöhnliche Leistung DEL FERROs bestand darin, dass er seine Methode für die Lösung kubischer Gleichungen in Analogie zum Verfahren für die quadratischen Gleichungen entwickelte. Es sind Überlegungen angestellt worden, ob DEL FERRO zu diesem Verfahren durch PACIOLO angeregt worden sei, der 1501/02 in Bologna gelehrt hatte und mit DEL FERRO mathematische Probleme diskutiert hatte – PACIOLO hatte das Problem zuvor schon in seiner „Summa" angeschnitten, aber für unlösbar erklärt; DEL FERRO hat bald nach seinem Besuch eine erste kubische Gleichungsform ($x^3 + x = a$) gelöst. FERRARI, der ein Schüler CARDANOs war, schrieb 1547, dass er die elegante und exzellente Lösungsmethode in DEL FERROs Notizbuch gesehen habe.

Niccolo Fontana genannt Tartaglia (1499/1500 – 1557)
TARTAGLIA stammte aus Brescia, wo er das Massaker von 1512 als für tot gehalten, im Kieferbereich schwerst verletzt, überlebte, weshalb er später nur schwer sprechen konnte, woher sein Beiname „Tartaglia", ital. „der Stammler" rührt. In ärmsten Verhältnissen erarbeitete er sich autodidaktisch derartige Kenntnisse, dass er Unterstützung fand; im Alter von 16 Jahren begann er bereits Unterricht zu erteilen. In einer öffentlichen Auseinandersetzung mit einem Schüler DEL FERROs bezüglich der Lösung kubischer Gleichungen (jeder der beiden Kontrahenten konnte 30 Aufgaben vorlegen) fand TARTAGLIA am frühen Morgen des 13. Februar 1535 ein Verfahren zur Lösung für Gleichungen des Typs $x^3 + x^2 = b$ und ging klar als Sieger aus dem Wettbewerb hervor, publizierte sein Verfahren aber nicht. Er gibt die Lösung in Gestalt eines [wissg-081-936::Gedichts] 1539 an.

Girolamo Cardano (1501-1576)
CARDANO war Arzt und wohl eine eigenwillige Figur, hat u.a. das Horoskop Jesu gestellt und ist vermutlich dafür von der Inquisition gefangen gesetzt worden; von ihm ist eine Autobiographie überliefert. Als CARDANO in Mailand von einem Mitarbeiter von dem Wettbewerb erfuhr, unternahm er alle Anstrengungen selbst ein Lösungsverfahren zu entwickeln (nachdem er sich zuvor auf Grund der Aussage PACIOLOs, das Problem sei unlösbar, nicht damit befasst hatte), blieb aber erfolglos. 1539 wandte er sich an TARTAGLIA, weil er das Lösungsverfahren in einem Buch veröffentlichen wollte, an dem er arbeitete. TARTAGLIA verweigerte dies, reagierte dann aber positiv, als ihn CARDANO mit Verweise auf seinen Mailänder Patron anschrieb, weil er – TARTAGLIA – auch auf dessen materielle Unterstützung hoffte. Als ihn CARDANO nach Mailand einlud, begab er sich im Frühjahr 1539 dorthin,

---

127 Von STEVIN stammt auch L'Arithmetique 1585, 2 Bücher, erstes Buch nur Definitionen, sein Zahlbegriff umfasst alle positiven reellen Zahlen; auch 1 ist eine Zahl, die Null entspricht dem Punkt, nicht 1 – 1, wurde häufig als Prinzip des Ursprungs- und Ausgangspunktes von den Zahlen ausgenommen. Den "arithmetischen" Zahlen stellt STEVIN "geometrische" Zahlen gegenüber, damit meint er die Potenzen von Unbekannten (ähnlich wie bei DIOPHANT). Schließt sich in mancher Hinsicht offen an Bombelli an. Im Anhang finden sich die ersten vier Bücher der Arithmetik des Diophant. – Appendice Algebraique 1594 über kubische Gleichungen, Näherungsverfahren und teilweise durch Probieren.

128 Hier wird vor allem zurückgegriffen auf CANTOR 2, 482ff. und auch auf die Ausführungen zu den einzelnen Personen in der [http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Mathematicians/Tartaglia.html::Mac Tutor Sammlung]

verriet schließlich CARDANO nach Eidesabnahme hinsichtlich weiterer Verschwiegenheit das Lösungsverfahren in der tarnenden Form eines Gedichtes und kehrte dann nach Venedig zurück.

CARDANO hat hierauf, auf Basis der von TARTAGLIA gewährten Kenntnisse mit Unterstützung durch seinen Mitarbeiter Lodovico FERRARI (1522-1565) das Lösungsverfahren für **alle** kubischen Gleichungen und für die Gleichungen vierten Grades gefunden. TARTAGLIA hatte damals noch immer nichts publiziert[129], CARDANO aber veröffentlichte seine

– **Ars magna, sive de Regulis Algebraicis**, ein sehr schwieriges Werk, auch weitschweifig und unübersichtlich, das aber der erste echte Fortschritt über die muslimische Algebra hinaus ist. CARDANO war sich dessen selbst bewusst und schließt sein Werk mit dem Satz: "*Geschrieben in 5 Jahren, möge es gültig sein so viele Jahrtausende*!"[130].

CARDANO verfasst auch eine Zahlentheorie „**De numerorum proprietatibus**“, weiters eine Arbeit „Sermo de plus et minus" über das Rechnen mit komplexen Zahlen (s.u).

Rafaello Bombelli (1526-1572)
War Ingenieur und beschäftigte sich mit komplexen Zahlen, stellte die Rechenregeln für „i“ auf. Sein Werk, „Algebra“ wurde 1572 in nur drei von fünf geplanten Büchern veröffentlicht und war für die Studierenden geschrieben, für die CARDANOs „Ars magna“ eine zu schwierige Lektüre war; es ist dieses Werk gewissermaßen der Abschluss der italienischen Algebra und findet weite Verbreitung in ganz Europa[131]. Erst 1923 wurde das Manuskript der restlichen beiden Bücher entdeckt und 1929 zum Druck gebracht.

3.2.2.4.1 Zur Vorstellung von Zahl im 16. Jh

Zu Anfang des 16. Jhs bereiteten die Wurzeln aus negativen Zahlen, negative Brüche, negative Exponenten etc. noch einiges Kopfzerbrechen; man fragt sich, worum es sich dabei eigentlich handle, ob es noch Zahlen seien, oder was sonst. Dieser Bereich, der seit GAUSS 1831 als "komplexe Zahlen" bezeichnet wird[132], ist erst im Verlaufe des 16. Jh einigermaßen erobert worden – man konnte anfangs nicht recht fassen, dass es für algebraische Vorgänge mit komplexen Zahlen reelle Zahlen als Ergebnisse geben könne.

U.a. hat sich STIFEL sehr um die Klärung dieser Probleme bemüht, der vielleicht als Erster die negativen Zahlen als solche verstanden hat, die kleiner seien als 0. CARDANO hat sich im letzten Kapitel seiner „Ars magna“ unter dem Titel "De regula falsum ponendi" damit befasst – "*falsum*" = eine negative Zahl, für die etwas "Reales" gesetzt werden muss[133];

Die Frage der komplexen Zahlen führte weiter zu einer neuen Erörterung des Zahlbegriffes: für CARDANO sind die klassischen rellen Zahlen, mit denen man seit jeher gerechnet hat, nur mehr eine von vier Kategorien, die er unter dem Zahlbegriff begreift; er spricht in seinem Werk "De numerorum proprietatibus" von Primzahlen und dann in der "Practica Arithmetica" von vier Kategorien:

1 Ganze Zahlen = diejenigen, die aus Einheiten bestehen
2 Gebrochene Zahlen = jene, die durch zwei Ziffern bezeichnet werden

---

129 1545 veröffentlicht CARDANO seine Ars magna, sive de Regulis Algebraicis, die im Wesentlichen sich mit den kubischen Gleichungen befasst. TARTAGLIA tobt, unterliegt aber.

130 CARDANO verfasst auch eine Zahlentheorie „De numerorum proprietatibus“, weiters eine Arbeit "Sermo de plus et minus" über das Rechnen mit komplexen Zahlen (s.u.).

131 Hat auch eine eigene Algebra verfasst, die den Studierenden zugänglich sei, befasst sich darin eingehend mit den kubischen Gleichungen, die er mit zahlreichen Beispielen belegt.

132 EULER bereits hat Wurzel aus -1 als i bezeichnet, Gauss hat diese Bezeichnung dann allgemein gemacht. Die Bezeichnung "komplexe Zahlen" wurde zuerst 1773 in einem Lehrbuch von Bezout benützt, und zwar für Zahlen bzw. Größen, die verschiedene Maßeinheiten enthalten (z.B. Tage, Stunden, Minuten, Sekunden). – Es sind zu unterscheiden: reelle Zahlen, rationale Zahlen, irrationale Zahlen, imaginäre Größen.

133 Dies tritt für ihn in zwei Fällen auf:
1 Es tritt eine negative Lösung auf; CARDANO stellt in einem der Beispiele mit der Lösung x = -48 fest: "Es handelt sich nicht um eine fingierte Lösung, sondern Franz hat Schulden".
2 Das Auftreten einer Quadratwurzel aus einer negativen Zahl. Beispiel "Teile 10 in zwei Teile, deren Produkt 40 ist", erscheint unmöglich, Lösung ist 5 + Wurzel aus -15. CARDANO zerbricht sich den Kopf darüber, was Wurzel aus -15 eigentlich sei, er nennt den Term eine *quantitas sophistica*. Eingehender hat sich noch BOMBELLI mit diesen Fragen beschäftigt, er stellt die Rechenregeln für den Umgang mit "i" auf.

3 *Numeri surdi* = Taube Zahlen, d.h. solche, die man nicht hören kann, weil man sie nicht aussprechen kann, z.B Wurzel aus 7
4 *Numeri denominati* = solche, die nur wegen der Ähnlichkeit Zahl genannt werden.

In der deutschen Literatur heißen diese Zahlen die "cossischen Zahlen". STIFEL hat sich sehr um den Zahlbegriff bemüht (hat aber den entscheidenden Schritt zu einer neuen Definition nicht getan – diesen setzte erst Petrus RAMUS[134]). STIFEL wirft die Frage auf,

1 ob Brüche und irrationale Zahlen wirklich Zahlen seien.
2 Er untersucht und experimentiert mit negativen Zahlen, die als *numeri absurdi* und als *numeri ficti infra nihil* bezeichnet, die jedoch für die Mathematik von höchster Nützlichkeit seien (*summa utilitate*). Er fasst sie schließlich als Binome auf: 0+6 (= -6)
3 Er beschäftigt sich mit geometrischen und arithmetischen Reihen in Bezug auf negative Exponenten – dieser Begriff ist von ihm eingeführt worden – und gelangt damit zu einer Vorstufe des Rechnens mit Logarithmen. Stellt Reihe auf:

-3	-2	-1	**0**	1	2	3	4	5	6
1/8	1/4	1/2	**1**	2	4	8	16	32	64

Diese Vorgangsweise in Verbindung mit einigen Rechenbeispielen, die STIFEL in diesem Zusammenhang gegeben hat, hat sehr wahrscheinlich auf BÜRGI und NAPIER eingewirkt.

Trotz dieser Arbeit an den negativen Zahlen sind diese längst nicht von allen Mathematikern des 16., ja nicht einmal des 17. Jhs anerkannt worden – u.a hat VIETE **sie abgelehnt.**

In der Folgezeit, vor allem ab 1600 hat man sich dann dem **Rechnen mit Variablen** gewidmet, wofür insbesondere die Einbeziehung der Bewegungen in die Betrachtung eine große Rolle gespielt hat – Berechnung des freien Falls, Planetenbewegungen, Ballistik, Wurf – also Bewegung auf der astronomischen wie auf der mechanischen Ebene.

Der erste Vertreter einer neuen Algebra war der Franzose

Francois Viete (1540-1603)

Lat. Vieta; er ist – weit über das Literalkalkül des 13. und 14. Jhs hinausgehend, als Begründer der Buchstabenalgebra zu betrachten. VIETE war Jurist, zeitweise auch in königlichem Dienst, und ursprünglich eher astronomisch interessiert (Harmonicon coeleste), stark beeinflusst von REGIOMONTANS Trigonometrie. Studierte dann DIOPHANT und CARDANO, näherte sich den Problemen in der griechischen Arithmetik mit den Mitteln der neueren Algebra:

– **Zetetica**, Neubearbeitung der bei DIOPHANT behandelten Aufgaben
– **In artem analyticen isagoge,** Einleitung in die Analytik, 1591; im 5. Buch dieses Werkes führt VIETE die Buchstabenrechnung ein: gesuchte Größen werden mit Vokalen bezeichnet, gegebene mit Konsonanten. VIETE verwendet allerdings noch Großbuchstaben, die heute üblichen Kleinbuchstaben werden etwas später von Thomas HARRIOT (1560-1621) eingeführt. Derlei war zwar schon vereinzelt früher vorgekommen (Leonardo FIBONACCI, JORDANUS DE NEMORE), nun aber erfolgt die konsequente Einführung, die einen der wichtigsten Schritte in der Entwicklung der modernen Algebra darstellt. Er führt auch den Begriff Analysis in der Algebra ein (an sich ist er natürlich alt, vor allem in der Geometrie). Er bezeichnet seine Vorgangsweise als "*logistike*" und unterscheidet eine *logistike speciosa* (= Buchstabenrechnen) und eine *logistike numerosa* (Zahlenrechnen); gibt einleitend in seine Werke exakte Definitionen der Grundoperationen, wie sie in der Scholastik ja auch gegeben wurden, doch natürlich auf einer höheren Ebene.

VIETE verfasste eine Reihe weiterer wichtiger Werke; er gibt ein Verfahren zur Dreiteilung von Winkeln im Gleichungswege an, löst eine Gleichung 45. Grades, indem er sie als Teilung eines Winkels von 45° erkennt, und hinterlässt eingehende Erörterungen der Gleichungslehre

– **De recognitione aequationum**,
– **De emendatione aequationum**, beide erst 1615 posthum, in der er vor allem den Möglichkeiten der Umformung von Gleichungen nachgeht, was für die Lösung von Gleichungen höheren Grades von größter Bedeutung war; VIETE fasst Gleichungen als Proportionen auf; im nachmals so genannten

134

„Vieteschen Wurzelsatz“ stellt VIETE fest, dass eine Gleichung soviele Lösungen haben könne, wie ihr Grad ist.

– **Notae priores**, erst posthum 1631 erschienen, ist eine Art Formelsammlung.

VIETE hat **keine negativen Zahlen** verwendet. Hat sich auch mit **Wahrscheinlichkeitsrechnung** und mit Zyklometrie (Zykloiden) beschäftigt; er hat u.a. π auf 9 Dezimalen berechnet – wenig später ist dann allerdings Ludolf VAN CEULEN auf 35 Dezimalen gelangt (weshalb π bis in das 19. Jh auch als „Ludolfsche Zahl“ bezeichnet worden ist).

Bonaventura Francesco Cavalieri (1598 – 1647)

CAVALIERI war ursprünglich Autodidakt, trat in den Jesuitenorden ein und erlangte 1619 die Vertretung einer Professur der Mathematik an der Universität Pisa, wirkte dann aber als Ordensmitglied an verschiedenen Orten, ab 1629 in Bologna. Ab 1632 veröffentlichte er mathematische, astronomische und physikalische Arbeiten, unter den Ergebnissen die Flächenformel für das sphärische Dreieck. 1635 erschien sein Hauptwerk, die

– **Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota**, in der er das zuvor schon von KEPLER in Zusammenhang mit der Ermittlung des Flächeninhalts eines Ellipsensegments angedachte Verfahren vorstellte, für die Berechnung von Oberflächen und von Volumina das Prinzip der Zusammensetzung von Geraden und unteilbaren Punkten, der Flächen aus Geraden, der Volumina aus Flächen anzuwenden – ein Verfahren, das schon bei ORESME auftritt und das KEPLERS unendlich kleine Einheiten mit der Exhaustionsmethode des ARCHIMEDES zusammenführen sollte und das er nach der ersten Veröffentlichung mehrmals verbessert bzw. untermauert hat, ohne damit aber restlos zu Rande zu kommen. Diese seine Bemühungen sind dann von ROBERVAL und anderen fortgeführt worden und mündeten schließlich in die Entwicklung der Infinitesimalrechnung.

Nach ihm ist auch das Prinzip benannt, dass alle Körper das gleiche Volumen haben, deren ebene Schnitte miteinander übereinstimmen (Beispiel: ein Stapel Münzen – er kann gerade, schief oder auch aus verschoben auf einander liegenden Münzen bestehen, das Volumen ist immer dasselbe). CAVALIERI hat weiter zur Trigonometrie, zu den Kegelschnitten, zur Optik und anderen Bereichen publiziert, war maßgeblich an der Verbreitung der Logarithmen beteiligt und stand mit einer erheblichen Zahl führender Köpfe in Korrespondenz – u.a. mit GALILEI, der ihn sehr schätzte, mit MERSENNE und mit TORICELLI.

Der Abschluss der Entwicklungsstufe der Arithmetik hin bis zur Schaffung einer eigenen Symbolik und dem Rechnen mit reellen, negativen, irrationalen und komplexen Zahlen wird erreicht mit René DESCARTES. Man hat für die nicht-reellen Zahlen zwar noch immer keine vernünftigen Definitionen, versteht aber in der Praxis mit ihnen umzugehen. Man vermag nun die Vielheit von Gleichungstypen auf geeignete Normalform zu transformieren, und Lösungen gelingen bis zum vierten Grad durch die Rückführung auf kubische und quadratische Gleichungen. Andererseits treten nun an sich schon länger angebahnte Probleme in neuer Weise in den Vordergrund, was einen bedeutenden Entwicklungssprung anbahnt.

Rene Descartes (1596-1650)

DESCARTES[135], der hier nur abschließend erwähnt sei, wirkte in der Mathematik, wesentlich in der Geometrie, bahnbrechend, fasst aber im dritten Buch seiner Geometrie (1637) auch die Arithmetik/Algebra zusammen, wobei er eine Schreibweise verwendet, die der heutigen schon sehr ähnlich ist[136], Gleichungen führt er nach Möglichkeit auf Null; negative Zahlen bezeichnet er noch als "*fausse*" = falsi = "falsch", also nicht reell, doch ist *fausse* hier bereits ein *terminus technicus* und nicht eine Qualitätsbezeichnung. DESCARTES gibt Anleitung für die Lösung von Gleichungen vierten Grades durch Transformierung in eine kubische Gleichung für x^2, sodass zuerst die kubische Gleichung für x^2 gelöst werden kann und dann die quadratische Gleichung für x.

---

135 Jesuitenschüler, dann Jusstudium in Poitiers, 1618 militärische Ausbildung, Reisen durch Dänemark und Deutschland, 1619 als Militär beim Hg von Bayern, dort findet er am 10. 11. 1619 in Dillingen oder in Neuburg an der Donau "mirabilis scientiae fundamenta", dann in Paris und in Holland, 1649 zu Königin Christine von Schweden nach Stockholm, wo er stirbt.

136 Er verwendet allerdings noch aa für a^2, noch ein eigenes Zeichen für =, das in England zwar schon gebräuchlich ist, am Kontinent aber erst durch Leibnitz allgemein verbreitet wird.

3.2.2.4.2 Die Entwicklung der Logarithmen

Die Entwicklungsgeschichte der Logarithmen[137] reicht bis in die Antike, zumindest auch ARCHIMEDES zurück, ist aber erst im ausgehenden 16. Jh in eine entscheidende Phase eingetreten, als Jost BÜRGI in den 1580er Jahren ein Rechenverfahren entwickelte, von dem KEPLER 1603/04 sehr bedauerte, dass BÜRGI sein enormes Wissen weitgehend für sich behielte und mit der Veröffentlichung zögerte; KEPLER schrieb diesbezüglich in seiner Einleitung zu den Rudolfinischen Tafel: "*Etsi homo cunctator et secretorum suorum custos foetum in partu destituit, non ad usus publicos educavit" (aber der zögernde Geheimniskrämer überließ das eben geborene Kind sich selbst, statt es zum öffentlichen Nutzen großzuziehen*). BÜRGI hielt dem entgegen, dass ihn sein Beruf als Instrumentenbauer davon abgehalten habe. KEPLER hat sich damit auf die Logarithmen bzw. Antilogarithmen BÜRGIs bezogen.

Schon ARCHIMEDES hat sich mit Zahlenreihen in einer Weise auseinandergesetzt, die die Rechenoperationen zu erleichtern geeignet war – dass er nicht weiter vorangekommen ist, dürfte wohl an dem Umstand gelegen haben, dass die Griechen keine eigenen Zahlzeichen besaßen, sondern nur ihre Buchstaben verwendeten, womit sie wiederum die Buchstabenrechnung nicht erfinden konnten. Aber er wusste im Prinzip bereits, dass eine Multiplikation durch das Addieren der Exponenten zu bewerkstelligen sei ($a^3 \times a^7 = a^{10)}$. Eine wichtige Motivation für die Entwicklung war, Rechenvorgänge zu finden, die die schwierigen Operationen auf einfachere reduzierten – das kannte man bereits aus der Trigonometrie, wo man im 16. Jh die Methode der Prosthaphairesis fand[138]. Die Divisions- und Multiplikationsvorgänge für achtstellige trigonometrische Tafeln waren höchst umständlich, und Irrtümer ließen sich nie vermeiden. Wenn man die Multiplikation auf ihre einfachere Form, die Addition, und die Division auf die Subtraktion zurückführen könnte, würde die Wahrscheinlichkeit des Irrtums in den mathematischen Berechnungen abgesenkt werden. PACIOLO und CHUQUET haben schon den Weg dorthin gewiesen – CHUQUET schrieb 12/0 ($=12^0$), 12/1 ($=12^1$), 12/2 ($=12^2$) etc.; dementsprechend hat CHUQUET zwei Zahlenfolgen aufgestellt und dazu geschrieben: „*Das Produkt zweier Glieder der unteren Folge ist ein Glied derselben Folge und zwar ist sein Nenner gleich der Summe der Nenner der Faktoren.*" STIFEL[139] hat in seiner "Arithmetica integra" die archimedische Reihe auch nach "links", also in die negativen Zahlen hin fortgesetzt und die obere Reihe als die "**exponentes**" bezeichnet:

-3	-2	-1	**0**	1	2	3	4	5	6
1/8	1/4	1/2	**1**	2	4	8	16	32	64

So wird festgestellt, dass man 4 x 8 = 32 auch finden könne, indem man die Multiplikation transformiert in $2^2 \times 2^3$ und damit in die Addition der Exponenten 2+3 = Exponent 5, darunter ist das Ergebnis 32 ablesbar. Was hier belanglos aussieht, ist aber bei größeren Zahlen sehr bedeutsam, und nicht umsonst sollte später LAPLACE feststellen, dass die Entwicklung der Logarithmen die Lebensdauer der Astronomen verdoppelt habe.

Diese Vorgangsweise in Verbindung mit einigen Rechenbeispielen, die STIFEL in diesem Zusammenhang gegeben hat, hat sehr wahrscheinlich auf BÜRGI und NAPIER eingewirkt. STIFEL hat als Erster klar die Erniedrigung der Rechenoperationen um eine Ebene erkannt. Damit war zwar viel gewonnen, in der Praxis aber noch nichts erreicht. Denn zwischen 2^5 und 2^6 liegt ja eine unerhörte Fülle ganzer Zahlen, geschweige denn von Dezimalzahlen.

Voraussetzung für die Erfindung der Logarithmen war deshalb die Einführung und sichere Handhabung der **Dezimalbrüche**, die ja trotz STEVINs De Theinde 1585 bis auf KEPLERs Zeit, bis gegen 1600 hin gemieden worden sind. BÜRGI war einer der ersten, der sie allgemein verwendete, er hat den Dezimalpunkt eingeführt und er hat bewusst Gleichungen auf Null gesetzt.

Jost Bürgi (1552-1632)

---

137 Leonhard EULER hat Logarithmen als Potenzen einer festen Grundzahl definiert – das Wort "Logarithmen" bedeutet etwa soviel wie "Verhältniszahl", "Rechnungszahl"; es ist von NAPIER zum ersten Mal verwendet worden.

138 Dass nämlich $\sin\alpha.\sin\beta = 1/2[\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+ß)]$.

139 Stifel: 1486/87-1567, erst Augustinermönch, dann lutherischer Pfarrer bei den JÖRGER VON TOLLETT, muss dann aber nach Sachsen fliehen, Freund LUTHERs, veröffentlicht 1532 das "Rechenbüchlin vom End Christ", in dem er den Weltuntergang für den 18. Oktober 1533 8:00 Uhr morgens, auch andere "kabbalistische" Rechnereien.

Jost BÜRGI war – auf Erkenntnissen Michael STIFELs (1486-1567) aufbauend – zur **Prosthaphairesis** gelangt[140]. Dies war eine Methode, die Multiplikation durch Additionen zu ersetzen, indem man die Formel „*sinα.sin β = 1/2[cos(α- β) – cos(α+β)] (sinα x sin β = 1/2[cos(α – β) – cos(α + β)*“ anwendete. Dazu bediente man sich bequem der Sinustafeln – diese Methode ist zu Beginn des 16. Jhs (1500-1514) offenbar in Deutschland wiedergefunden worden. BÜRGI hat diese Methode ausgebaut für das Dividieren, Potenzieren und Wurzelziehen und hat bei der Erstellung einer eigenen besonders genauen Sinustafel gefunden, dass es sich als günstig erweise, jede Zahl als Kombination einer gleichbleibenden Grundzahl und eines entsprechenden Exponenten darzustellen. Er wählte dafür einen Exponenten, der etwas größer war als 1, nämlich $1+10^{-4}$ (= 1,0001) und multiplizierte mit 10^8 – darin unterschied er sich von seinem Zeitgenossen NAPIER, der den Exponenten mit $1–10^{-7}$ (= 0,9999999) etwas kleiner als 1 ansetzte.

Praktisch hat BÜRGI damit die natürlichen Logarithmen angegeben, die er verkehrt angeschrieben hat, weshalb seine Logarithmen auch als „Antilogarithmen“ bezeichnet werden.

BÜRGI hat seine Logarithmen trotz bedeutender gleichzeitiger Entwicklungen auf diesem Gebiet zurückgehalten. Erst 1620 sind sie unter denkbar ungünstigen Umständen ausgerechnet in Prag als

– **Arithmetische und geometrische Progreßtabuln** [wissg-07A-763::erschienen]: (übrigens mit wesentlichen Druckfehlern gleich auf der ersten Seite), die auch als "**rote Zahlen von Prag**" bezeichnet worden sind. BÜRGI hat übrigens die angekündigte Erläuterung nicht gegeben, weshalb das ganze Werk wertlos war und viele der zweifellos eher wenigen Käufer dürften ihr Exemplar schließlich weggeworfen haben; deshalb stellen die Progreßtabulen heute eine bibliophile Rarität allerersten Ranges dar[141].

Erst 1856 ist das Manuskript mit den von BÜRGI verfassten Erläuterungen in Danzig aufgefunden worden. Wo BÜRGI die Idee zu seinen Logarithmen gehabt und wo er sie errechnet hat, wissen wir nicht. Erwin VOELLMY (Basel) setzt die Erfindung der Logarithmen nach der Zeugenschaft von BÜRGIs Schwager Benjamin BRAMER und auch auf Grund von KEPLERs Aussagen sehr früh an; der deutsche Astronom Reimarus Ursus DITHMARSUS schrieb bereits 1588, BÜRGI besitze ein Mittel, sich seine Rechnungen außerordentlich zu erleichtern – es dürfte sich dabei wohl bereits um die Logarithmen gehandelt haben.

Wenn auch BÜRGIs Logarithmen keinen direkten Einfluss auf das Rechnen gehabt haben, da sie ja nie praktisch verwendet worden sind, so sind sie doch ein Beweis mehr dafür, welche Leistungen in dieser Zeit außerhalb der Universitäten und von Praktikern erbracht worden sind – BÜRGI war des Lateinischen nicht mächtig, d.h. ein erheblicher Teil der Literatur war ihm überhaupt nicht zugänglich gewesen!

Im Anschluss an BÜRGI hat sich auch

Johannes Kepler (1571-1630)
mit den Logarithmen beschäftigt:

Chilias Logarithmorum ad totidem numeros rotundos, dieses von 1621 auf 1622 fertiggestellte Werk KEPLERs bietet eine Logarithmentafel von 1-1000, und seine

Demonstratio structurae logarithmorum erläutert die Logarithmen in 30 Lehrsätzen. KEPLER hat die Tafel MÄSTLIN nach Tübingen zur Drucklegung geschickt, der aber hat sie lange liegen lassen; erst durch den Landgrafen PHILIPP VON HESSEN ist das Werk dann – ohne Wissen KEPLERs – gedruckt worden. Den Druck der von ihm geplanten erweiterten Tafeln hat KEPLER nicht mehr erlebt, die hat sein Schwiegersohn Jakob BARTSCH herausgebracht.

Der eigentliche Durchbruch der Logarithmen für die Allgemeinheit vollzog sich auf Grundlage der Arbeit von

John Napier (1550-1617)
John NAPIER, auch Neper genannt, Laird (Gutsherr) of Merchiston, der 1614 sein Werk

---

140 *Prosthesis* = Hinzusetzung, *Aphairesis* = Wegnahme.

141 Die Universitätsbibliothek der Karl-Franzens-Universität Graz besitzt eines der ganz wenigen erhaltenen Exemplare. – Das Danziger Exemplar weist handschriftliche Richtigstellungen etlicher Druckfehler auf.

– **Mirifici logarithmorum canonis descriptio**, veröffentlichte, das die auf $1\text{-}10^{-7}$ aufgebauten Logarithmen der Sinustafeln, also der trigonometrischen Funktionen, bot, zumal das Werk für die Erleichterung trigonometrischer Berechnungen gedacht waren. Das Werk enthält nur eine kurze Einleitung zum Gebrauch der Tafeln. Die Theorie der Logarithmen hat NAPIER erst später geboten, sie ist erst posthum erschienen in „Mirifici logarithmorum canonis constructio“ (1619).

NAPIER entwickelte auch die hierauf sehr weit verbreiteten Rechenstäbe, die er in seinem Todesjahr in einer Publikation vorstellte und die dann als „Napiers Bones“ bekannt wurden[142].

Henry Briggs (1556-1630)

Henry BRIGGS hat bereits 1615 in Übereinstimmung mit NAPIER dessen Logarithmen zu dekadischen Logarithmen überarbeitet, indem er 10 zur Basis wählte: 10 = log 1 (= 10^1), 100 = log 2 (= 10^2) etc. Daraus aus ergab sich das System der Kennzahl mit der Mantisse hinter dem Komma:

alle Zahlen zwischen 0 und 10	=	0,xxxxx
alle Zahlen zwischen 10 und 100	=	1,xxxxx
alle Zahlen zwischen 100 und 1000	=	2,xxxxx

Auf diese Weise hat er auf 14 Stellen für die Zahlen von 1 bis 20.000 jene Logarithmen errechnet, die heute noch benützt werden. Die BRIGGS'sche [wissg-07A-766::Tafel] ist 1628 von Adrian VLACQ [wissg-07A-767::vollendet] worden und ist die Grundlage für praktisch alle nachfolgenden [wissg-07A-765::Logarithmentafeln] geworden.

Bereits um 1650 hatten die Logarithmen die Prosthaphairesis verdrängt. Hauptbenützer wurden die Astronomen. Ein Nebeneffekt war, dass die Verwendung der Logarithmen die endgültige allgemeine Benützung des STEVINschen Dezimalbruches mit sich brachte.

So hat es etwa 400 Jahre benötigt, bis die arabischen Zahlen und das Stellenwertsystem endgültig akzeptiert waren!

Zur selben Zeit wurden auch bereits auf der Grundlage der GUNTER**schen Skalen** (GUNTER's scales) logarithmische Rechenschieber verbreitet (GUNTER war Professor am Gresham-College in London, hat 1620 erstmals damit gerechnet) – damals schon mit beweglicher Zunge und für nautische Zwecke auch mit speziellen Skalen für trigonometrische Berechnungen.

3.2.3 Zur Astronomie im 16. und 17. Jh

Die bahnbrechenden [wissg-07A-768::Neuerungen] der Astronomie jener Zeit sind verbunden mit Nikolaus KOPERNIKUS, Tycho BRAHE, Johannes KEPLER und Galileo GALILEI.

Nikolaus Kopernikus (1473-1543)

In den Quellen auch Kopernigk, Coppering, Czeppernic, Cupernik etc. KOPERNIKUS stammte aus Thorn, wurde in Krakau, Bologna, Padua ausgebildet, wird 1495 Kanoniker in Thorn, arbeitet als Arzt und beteiligt sich an der Reform des Deutschen Ordens. Zwischen 1509 und 1512 bereits hat KOPERNIKUS in seinem zu seinen Lebzeiten nie publizierten und erst 1877 wieder aufgefundenen

– **Commentariolus** die Grundgedanken des nach ihm benannten „neuen“ Systems festgehalten:
  1. Nicht alle Himmelskörper bewegen sich um das gleiche Zentrum
  2. Die Erde ist nicht Zentrum des Weltalls, sondern lediglich der Mondbahn und der Schwere[143]
  3. Die Entfernung Erde-Sonne ist in Relation zu jener zwischen Erde und Fixsternen winzig
  4. Das *primum mobile* (die tägliche Drehung des Himmels) ist in der Rotation der Erde begründet
  5. Das Zentrum des Planetensystems ist die Sonne

---

142 S. dazu diese [http://www.cee.hw.ac.uk/~greg/calculators/napier/simulation.html::Simulation]

143 Bezüglich der Gravitation schreibt KOPERNIKUS, durchaus noch im Sinne der spätscholastischen Naturphilosophie: „*Equidem estimo gravitatem non aliud esse quam appetentiam quandam naturalem partibus inditam a divina providentia Opificis universorum, ut in unitatem integritatemque suam sese conferant in formam globi coeuntes […] quam affectionem credibile est etiam soli, lunae ceterisque errantium fulgoribus inesse, ut eius efficacia in ea, quae se representant, rotunditate permaneant.*“ De revolutionibus orbium caelestium I,9 (nach Maier, Das Problem der Gravitation 173)

6. Die Erde dreht sich in einem Jahr um die Sonne – daraus folgte die für die damalige Zeit vielfach noch als ungeheuerlich empfundene, letztlich aber keineswegs außergewöhnlich Feststellung, dass die Erde ein Planet sei
7. Durch den Umlauf der Erde um die Sonne wird die zeitweilige Rückläufigkeit der Planeten erklärt (gleichwohl hat KOPERNIKUS die Epizykel beibehalten)

KOPERNIKUS erkannte auch die Präzession der Himmelsachse, vermochte sie aber noch nicht zu erklären.

KOPERNIKUS hat den mathematisch-physikalischen Beweis seiner Theorie versprochen, doch er hat Zeit seines Lebens daran verbessert; erst knapp vor seinem Tod hat er – wie er selbst sagte – nach 36jährigem Zögern das Manuskript in Druck gegeben. Erst in seinem Todesjahr ist das bahnbrechende Werk

– **De revolutionibus orbium coelestium**, 1543, [wissg-07B-804::erschienen]:
KOPERNIKUS hat die Planeten in "obere" und "untere" (=innere) unterschieden und ihre Konjunktionsmöglichkeiten angegeben (bei oberen Möglichkeit der Opposition, bei unteren eine obere und eine untere Konjunktion. Die Planeten bewegen sich für KOPERNIKUS auf Kreisbahnen.

Es ist heute sehr umstritten, ob KOPERNIKUS in Bezug auf sein Verständnis der Planetenbahnen (unter Eliminierung des früh schon umstrittenen bzw. abgelehnten Äquanten) von der Schule von Maragha (s.o.) beeinflusst war[144], deren Oberhaupt AL-TUSI im Sinne der Behebung wesentlicher, von AL-HAYTHAM aufgezeigter Mängel des Almagest neue Vorstellungen entwickelt hatte, welche Methode praktisch mit der von KOPERNIKUS in „De revolutionibus" angewandten identisch ist. Und auch, ob er von IBN ASCH-SCHATIRs Lösung mit den doppelten Epizykeln Kenntnis erhalten habe, welche Methode sich ebenso wie eine spezifische Lösung bezüglich des Mondes bei KOPERNIKUS findet. Aus diesen zahlreichen Analogien liegt die Annahme nahe, dass die bereits entwickelten Modelle gekannt habe, wenn auch derzeit nicht bekannt ist, wie diese Übernahme erfolgt sei, denn weder von AL-TUSIs Arbeit noch von IBN ASCH-SCHATIR sind lateinische Übersetzungen bekannt; es existiert lediglich ein griechische Übersetzung, die 1475 aus Byzanz nach Italien kam, in der AL-TUSIs Mondmodell und eine Skizze des [wissg-077-672::Tusi-Paares] enthalten sind; der nächstfolgend bekannte Hinweis auf die Methode des Tusi-Paares im Westen ist erst 1536 in Venedig publiziert worden[145]. Selbst wenn dies zutreffen sollte, so ist es doch sicherlich überzogen, die „kopernikanische Wende" als eine Revolutionierung durch die Schule von Maragha bzw. die östliche muslimische astronomische Schule zu sehen[146]., da die muslimischen Neuerungen sich ausschließlich auf die Problematik der Planetenbahnen in einem geozentrischen System bezogen und die wesentliche Leistung des KOPERNIKUS in der Untermauerung des heliozentrischen Systems besteht.

---

144 NEUGEBAUER stellt dazu fest: *The recovery of the planetary theory of the astronomers of the Maragha School […] is not only of great interest in itself, but has also demonstrated that much what had been taken for Copernicus's own planetary theory is actually of medieval Arabic origin, and was transmitted to western Europe by an unknown route, perhaps by way of late Byzantine sources, to Italy at some time in the fifteenth century.* […] *the question therefore is not whether but when, where, and in what form, he* [Copernicus] *learned of Maragha theory*", Otto Neugebauer und Noel M. Swerdlow, Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revoluionibus, 2 Bde, Springer-Verlag 1984, 47) (zitiert nach Tahiri). – Andere Autoren sind bezüglich der Beeinflussung des Kopernikus zurückhaltender – Owen GINGERICH schreibt nach einem Hinweis darauf, dass es „*keinen wie auch immer gearteten Hinweis darauf* [gebe], *dass Kopernikus* [die bekannten Teile von Übersetzungen von Arbeiten AL-TUSIs in Rom um 1500] *jemals zu Gesicht bekam*", dazu: „*Heutzutage sind die Forscher geteilter Meinung darüber, ob Kopernikus seine Methode, den Äquanten zu ersetzen, auf irgendeine Weise aus der islamischen Welt übernommen hatte oder ob er sie selbständig entwickelte. Ich persönlich halte es für sehr wohl möglich, dass er die Methode gänzlich unabhängig erfand.*" – Gingerich, Die islamische Periode der Astronomie, in: Spektrum der Wissenschaft 1986,4 100-109, 109. – Eingehend befasst sich auch Henri Hugonnard-Roche, The influence of Arabic astronomy in the medieval west. In: EHAS I 284-305, mit dieser Frage; er setzt auf Grund der Ähnlichkeiten die Wahrscheinlichkeit der Beeinflussung des KOPERNIKUS durch AL-TUSI und IBN ASCH-SCHATIR trotz des Fehlens jeglichen Hinweises in lateinischen Texten als sehr hoch an.

145 S. Hugonnard-Roche 298-303.

146 Diese Ansicht ist recht enthusiastisch Hassan Tahiri, wenn er schreibt: „*Since, as already mentioned, the technical novelties essential to the development of the Copernican system have been shown to have their origin in the Maragha School, we are might say* [sic], *by using Kuhn's paradigm, that the Copernican revolution is in fact the Maragha School revolution*" (Hassan Tahiri, The birth of scientific controversies. The dynamics of the Arab tradition and its impact on the development of science: Ibn al-Haytham's challenge of Ptolemy's Almagest" in [http://stl.recherche.univ-lille3.fr/sitespersonnels/rahman/tahiriibnalhaytham210706.pdf]). AL-TUSI und seine Kollegen in Maragha vertraten bei aller Verbesserung des ptolemaischen Systems immer noch ein geozentrisches System.

Die Aufnahme des Werkes war eher indifferent, da es nur wenige verstanden; vor allem die Vorstellung, dass die Erde sich drehe, schien kaum verkraftbar, ja sie schien den meisten Menschen einfach absurd. Man glaubte, dass sich die Erde unter einem Gegenstand der in die Luft geworfen würde, wegdrehen müsste, was man nicht beobachtet habe. In den Schulen ging man weiterhin nach PTOLEMAIOS vor. LUTHER meinte: "*Der Narr will die ganze Kunst Astronomia umkehren, aber die Hl. Schrift sagt uns, daß Josuah die Sonne still stehen hieß und nicht die Erde*". Dennoch gab es auch keinen ernsten Widerstand gegen sein [wissg-07A-771::System], auch nicht von der Kirche her. Dieser erwuchs erst einige Zeit nach dem Tode des KOPERNIKUS, insbesondere als

Giordano Bruno (1548-1600)
die Vorstellungen des KOPERNIKUS in die Philosophie übernahm und damit gegen die traditionelle kirchliche Lehrmeinung auftrat. 1584 hat BRUNO in Venedig eine Schrift mit dem Titel

– **Del' infinito universo et mondi** veröffentlicht, in der er gleich KUES nicht einmal die Sonne im Mittelpunkt des Kosmos sah, sondern als eine von vielen in einem unendlichen und mittelpunktslosen Universum mit eben vielen Welten (*mondi*). 15 Jahre lang ist der von der Inquisition verfolgte BRUNO, von dem LEIBNIZ die Idee der Monaden übernommen hat, durch Europa geirrt, bis er verraten, sieben Jahre lang eingekerkert und am 17. Februar 1600 für seine Anschauungen auf dem Campo dei Fiori in Rom verbrannt worden ist.

Planetarien wurden im 17. Jh immer noch vielfach nach dem geozentrischen System gebaut, und wenn doch nach dem heliozentrischen System, so bewegten sie sich auf Kreisbahnen um die Sonne.

Pedro Nunez (1492-1577)
NUNEZ, lat. Nonius, hat sich mit mathematisch-astronomischen Fragen, wie etwa der Dämmerungszeit, beschäftigt. Nach ihm ist fälschlich der erst 1631 von Pierre VERNIER erfundene Nonius zur Teilung von Strecken benannt. In **De arte ateque ratione navigandi** entdeckte NUNEZ die dann später von Willebrord SNELLIUS benannten Loxodrome[147].

Von größter Bedeutung für die Astronomie erwies sich aber, dass RUDOLF II. Jost BÜRGI, Tycho BRAHE und Johannes KEPLER an sich gezogen hat.

Jost Bürgi (1552 – 1632)
BÜRGI[148] war der wohl hervorragendste [wissg-07B-780::Instrumentenbauer] seiner Zeit; als Mathematiker und Astronom ging er weit über das Niveau seiner meist auf den rein mechanisch-

147 Linie, die alle Meridiane unter demselben Winkel schneidet, kürzester Verbindung zwischen zwei Orten auf einer Kugel, wird in der Ebene als Linie abgebildet, ist aber kein Großkreis etc. Wichtig für die Navigation.

148 BÜRGI war Schweizer und stammte aus Lichtensteig. Wir wissen wenig über seine Herkunft und Jugend (die auf ihn bezug nehmenden Materialien in Kassel sind im Zweiten Weltkrieg zugrundegegangen), vermutlich hat er in Straßburg beim Bau der großen Turmuhr um 1574 mitgearbeitet und dabei gelernt. 1579 ist er als Uhrmacher in die Dienste des Landgrafen WILHELM VON HESSEN getreten, der ein ernster (der Astrologie feindlich gesinnter) Astronom war, dessen Ziel die Erstellung eines umfangreichen Sternkatalogs war; in Kassel bestand damals bereits eines der erstrangigen Observatorien Europas mit entsprechendem Personal. BÜRGIs Aufgabe dürfte es anfangs wohl gewesen sein, die astronomischen Uhren zu beaufsichtigen und zu warten. BÜRGI hat die erste Uhr mit Sekundenanzeige gebaut – eine Zeit lang wurde ihm sogar die erste Pendeluhr zugeschrieben, da in eine von ihm gebaute Prager Uhr nachträglich ein Pendelwerk nach HUYGHENS eingebaut worden war. – BÜRGI hat darüber hinaus unter anderem auch einen nach ihm benannten Sextanten sowie ein [wissg-07B-783::Triangulierungsinstrument] mit Messtischverfahren gebaut (Die Abbildung ist insoferne missverständlich, als die Messbasis durch die Unterbrechung für das Geschütz nicht erkennbar ist).

Da er sich als besonders geschickt erwies, hat ihn RUDOLF II., zu dem er 1592 mit einer Uhr, die auch die Planetenbewegungen darstellte, als Geschenk WILHELMs (der ein Onkel RUDOLFs war!) geschickt wurde, mit viel Geld in seine Dienste zu ziehen versucht (RUDOLF hat für seine, auch künstlerisch mit höchster Qualität ausgestatteten Instrumente sehr hohe Summen ausgegeben – 1590 für eine "Himmelskugel" mit Uhrwerk 4000 Taler, für ein kunstvolles Uhrwerk 6000 Taler etc., die Abrechnungen sind teilweise erhalten geblieben); doch BÜRGI, der dem Kaiser einen der von ihm selbst erfundenen Proportionalzirkel schenkte, ist seinem alten Herren treu geblieben, der allerdings bei BÜRGIs Rückkehr nach Kassel schon verstorben war. Sein neuer Dienstherr, MORITZ VON HESSEN, hat ihn allerdings mehrfach an RUDOLF "ausgeborgt"; zu Jahreswechsel 1604/05 ist er in RUDOLFs Dienste getreten, der ihn zum Kammeruhrmacher machte; so pendelte BÜRGI zeitweise zwischen Kassel und Prag. Nach RUDOLFs Tod erst ist er wirklich wieder nach Kassel zurückgekehrt.

handwerklichen Bereich beschränkten Kollegen hinaus[149]. RUDOLF II. hat ihn um enormes Geld aus den Diensten des Herzogs von Hessen an sich zu ziehen gesucht. Sein hessischer Dienstgeber WILHELM VON HESSEN hat ihn Tycho BRAHE gegenüber als einen zweiten ARCHIMEDES bezeichnet. Im Bereich der Astronomie ist er bedeutsam als Erbauer eine Reihe von hervorragenden Planetarien – im 16. Jh sind auf der Grundlage des neu erfundenen Federantriebs erst als Spielzeug, dann mehr und mehr auch für ernstere Interessen und in Zusammenhang mit der Verfeinerung der Uhren erstmals funktionstüchtige Automaten[150] und technische Geräte[151] gebaut worden – es wurden hier die wissenschaftlichen Interessen etwa WILHELMS VON HESSEN und RUDOLFS II. im Wege der mechanisch-technischen Fertigkeiten mit der Mathematik und vor allem mit der Astronomie verbunden – es werden erstmals funktionsfähige Rechenmaschinen und Planetarien konstruiert und gebaut. BÜRGI baute (nachweislich spätestens 1587) heliozentrische Planetarien mit Federantrieb, die so präzise waren, dass ihre Aussagen für die Verifikation bzw. Ablehnung eines bestimmten Planetensystem-Modells herangezogen werden konnten – so konnte damit das semi-tychonische System widerlegt werden, da die Bewegung des Mars in diesem System nicht mit der tatsächlich beobachteten übereinstimmte.

Tycho Brahe (1546-1601)

Tycho BRAHE ist Höhepunkt und Endpunkt der beobachtenden Astronomie vor der Verwendung des Fernrohrs. Durch die Konstanz und die Genauigkeit seiner astronomischen Beobachtungen wurden letztlich die Arbeiten der früheren Astronomen obsolet und im Wege der Auswertung durch KEPLER fand der immer noch dominante Einfluss der Philosophie auf die Astronomie ein Ende: BRAHE wies die Vorstellung von festen Sphären und ähnliche Vorstellungen zurück. – Tycho BRAHE war jedoch als Mathematiker weit weniger leistungsfähig und in dieser Hinsicht auf Mitarbeiter wie KEPLER angewiesen

BRAHE stammte aus einer schwedisch-dänischen Familie – sein Onkel war Vizeadmiral und Großgrundbesitzer –, studierte in Leipzig und in Kopenhagen Jurisprudenz und insgeheim Astronomie. Als er 1565 nach langen Reisen nach Dänemark heimkehrte, konnte er dort eine große Erbschaft antreten, die ihn in die Lage versetzte, in der Folge das Leben zu führen, das er geführt hat – BRAHE war offenbar ein eher unerfreulicher, rechthaberischer, wüster Bursche mit rauhen Sitten (verlor bei Säbelduell in Rostock die Nasenspitze, weshalb er eine silberne Nasenspitze trug, die er mit einer Haftcreme aus der Schnupftabakdose immer wieder aufgeklebt haben soll). KEPLER hat sich in Prag noch sehr an seinem Lebenswandel gestoßen. BRAHE ist 1601 in Prag gestorben – als letzter Ausspruch wird überliefert: "*Ne frustra vixisse videar*".

Berühmt wurde BRAHE, als er am 11. November 1572 die Nova Cassiopeiae entdeckte (die vermutlich aber schon im Oktober in Wien gesehen worden war) und nachweisen konnte, dass diese Nova ein Phänomen des Fixsternhimmels war – womit die Anschauung widerlegt wurde, dass der Fixsternhimmel unveränderlich sei (was als ähnlich aufregend empfunden wurde wie die Entdeckung der Sonnenflecken). BRAHE hat die Nova durch eineinhalb Jahre beobachtet und beschrieben, bis sie völlig verblasst und für ihn praktisch unsichtbar geworden war.

1575 hat BRAHE den Landgrafen WILHELM VON HESSEN besucht, der ein begeisterter Astronom war, und hat dessen Observatorium benutzt. Anschließend reiste er nach Venedig, Augsburg und Regensburg, wo er auf RUDOLF II. traf, dessen Krönung er besuchte. Nach seiner Rückkehr nach Dänemark wurde BRAHE mit der Insel [wissg-07B-806::Hven] belehnt, auf der er mit dem Bau seines Schlosses und Observatoriums [wissg-07B-807::Uraniborg] begann, der bis 1580 andauerte. Dieses Gebäude war astronomisch genauestens orientiert, verfügte über Schließdächer, eigene Werkstätten, ein eigenes „chemisches Laboratorium“, eine Papiermühle und eine eigene Druckerei. Die [wissg-07B-

BÜRGI ist der Erfinder des Zirkels mit beweglichem Kopf, des Reduktionszirkels und er war vielleicht der erste, der – für astronomische Zwecke – eine Uhr mit Minuten und Sekundenzeiger gebaut haben dürfte, er hat dafür eine neue Unruhe entwickelt.

Über die astronomischen Geräte, die er bauen musste, gelangte BÜRGI zu mathematischen Problemen. BÜRGI hat KEPLER in Prag kennengelernt und nach seinen Plänen eine Wasserkunst für RUDOLF II. gebaut – vermutlich hat er auch KEPLERS [wissg-07B-790::Zahnradpumpe] verwirklicht.

149 In jener Zeit bildet sich ja der Begriff und der Typus des Ingenieurs heraus (ital. *ingegnere* = Techniker, Baumeister, Festungstechniker etc., *ingegno* = *ingenium* = Talent, Genie etc.)

150 Derlei Dinge und möglichst komplizierte Uhren haben für die Habsburger als Türkentribut eine große Rolle gespielt.

151 1581 hat RUDOLF II. den ersten brauchbaren Schrittzähler privilegiert, d.h. ein Patent darauf gewährt.

808::Instrumente], die BRAHE unter enormem finanziellem Aufwand dort aufstellte, hat er in den 1598 erschienen

– **Astronomiae instauratae mechanica** genau beschrieben – wir wissen genauestens Bescheid darüber.

Über 20 Jahre (1576-1597) hinweg hat BRAHE mit seiner Schwester (die ebenfalls Astronomie betrieb) und mit seinen Schülern auf Hven gelebt und beobachtet, bis er sich mit maßgeblichen Leuten überwarf und das Land verließ. Zwei Jahre ist er mit seiner Dienerschaft und den Geräten, Möbeln, mit seiner umfangreichen Bibliothek und der Druckerpresse durch Deutschland gezogen, bis ihn RUDOLF II. als kaiserlichen Astronomen nach Prag berief, wo er ihm das Schloss Benatek außerhalb Prags zuwies, das er in ein neues Uraniborg umwandeln wollte. BRAHE bezog mit jährlichen 3.000 fl das höchste Gehalt an RUDOLFs Hof.

BRAHE verfügte über einen berühmten, vielfach abgebildeten gemauerten [wissg-07B-809::Quadranten], der auf 10" genaue Messungen gestattete und für dessen Bedienung drei Personen notwendig waren: 1 Beobachter am Diopter, 1 Beobachter an den Uhren, der die Zeit des am Diopter festgestellten Durchganges ablas (und zwar zumindest an zwei Uhren) und 1 Protokollführer. BRAHEs Messungen sollen auf etwa 2 Bogenminuten, d.h. auf ein 10.800stel des Kreisumfanges genau gewesen sein – so genau, dass er sogar bei tiefstehenden Gestirnen die Abweichung durch die Lichtbrechung in der Atmosphäre (die atmosphärische Refraktion) einzukalkulieren suchte; er war dabei allerdings der Meinung, dass der Grad der Refraktion von der Distanz des Gestirns abhängig sei – darin hat ihn KEPLER widerlegt, der dann seinerseits eine lange verwendete Refraktionstabelle errechnet hat.

BRAHE erstellte ein **Fixsternverzeichnis**, indem er 20 "Fundamental-Fixsterne" sehr genau vermaß und an sie weitere 773 und nochmals 100 Sterne anschloss; er hat dieses Verzeichnis als

– **Astronomiae instauratae progymnasmata** in 2 Bänden in Kopenhagen 1589, dann in Prag 1603 publiziert.

In Prag hat BRAHE im Wesentlichen mit seinem Schüler Christian LJÖNBERG (lat. Longomontanus) und ab 1600 mit Johannes KEPLER zusammengearbeitet – LJÖNBERG war für die Beobachtung des Mondes zuständig, KEPLER für die des Mars. Weitere Schüler bzw. Mitarbeiter BRAHEs waren: Willem Janszoom BLAEU, nachmals Schöpfer des berühmten "Atlas novus", und der spätere kaiserliche Hofbibliothekar Franz TENGNAGEL, der BRAHEs Tochter Elisabeth heiratete und so zu KEPLERs Verdruss in den Besitz des Nachlasses kam.

Vor diesem Hintergrund wurden die exakten Beobachtungen der Planeten vorgenommen, von denen vor allem jene des Mars KEPLER die Entdeckung der Ellipsenbahnen bzw. die Auffindung der drei nach ihm genannten Gesetze gestattete. 1577, 1580, 1582, 1585, 1590 hat BRAHE Kometenbeobachtungen angestellt und an Hand der kleinen Parallaxe festgestellt, dass sie weiter entfernt seien als der Mond, also nicht der sublunaren Sphäre angehörten. BRAHE hat das kopernikanische System abgelehnt, weil es mit den Beobachtungen nicht immer vereinbar schien; er hat es deshalb durch ein eigenes – das [wissg-07B-812::tychonische System] – ersetzt, in dem die Erde im Mittelpunkt steht, die von Sonne und Mond umkreist wird, während die übrigen Planeten um die Sonne kreisen – es war dies so ziemlich das komplizierteste System, dass man sich vorstellen kann, da alle Körper zusätzlich mit Epizykeln ausgestattet waren. Es wurde dann eine Kompromissvariante – das semitychonische System – entwickelt. BRAHE suchte KEPLER noch vor seinem Tod auf sein System einzuschwören.

Das materielle Erbe BRAHEs hat trotz der exorbitanten Preise, die seine Erben – insbesondere TENGNAGEL – für die freilich sehr wertvollen Instrumente und die Bibliothek verlangten, RUDOLF II. anzutreten gesucht, um die Materialien dem Manne zuzuwenden, der sie tatsächlich auswerten sollte, nämlich Johannes KEPLER. An diesen sind nach und nach wenigstens die Beobachtungsnotizen gelangt; allerdings war der Druck der Erben auf KEPLER so groß, dass er sogar BRAHE als Verfasser der zur Gänze von ihm (KEPLER) errechneten Rudolfinischen Tafeln ausgeben musste. – Die Instrumente sind zum größten Teil in den Wirren nach der Schlacht am Weißen Berg und im späteren Verlauf des Dreißigjährigen Krieges zugrunde gegangen – erhalten blieben im Wesentlichen lediglich ein Sextant und ein Himmelsglobus, der dann später in Kopenhagen einem Brand zum Opfer gefallen ist.

Johannes Kepler (1571– 1630)

KEPLERs Leben – war Siebenmonate-Kind, Eltern sehr ungut, Vater ließ sich von Herzog ALBA anwerben, Mutter ging mit, KEPLER von Großeltern aufgezogen, Augenleiden durch Blattern hinterlässt

starke Kurzsichtigkeit und eine unokulare Polyopie (Mehrfachbilder auf einem Auge) – KEPLER war kein selbst unmittelbar beobachtender Astronom, sah aber früh bemerkenswerte astronomische Ereignisse, u.a. als 6jähriger einen Kometen. Über ein Stipendium betritt KEPLER den gehobenen Bildungsweg, 1589 beginnt er sein Studium in Tübingen – Theologie, er wird (wie später HÖLDERIN, HEGEL, SCHELLING etc.) in das Tübinger Stift aufgenommen; dort erhielt er jene exzellente philologische Ausbildung, vor allem im Griechischen, die ihn es ihm später gestattete, die von ihm verehrten Autoritäten PYTHAGORAS und ARISTOTELES, aber auch neuplatonische Autoren in der Originalsprache zu lesen. Entscheidend für seine Ausbildung wurde Michael MÄSTLIN (1550-1631), der das kopernikanische System vorsichtig, aber eben doch als "Denkmöglichkeit" vortrug – so hat KEPLER bei Disputationen in Tübingen mehrmals das kopernikanische System verteidigt, obgleich er Theologe werden wollte – als solchem stand ihm auf Grund seiner toleranten Einstellung das Christsein über der „amtlichen" Konfession.

KEPLER war als Protestant nicht sehr linientreu, er verweigerte die Unterzeichnung der streng-lutherisch-orthodoxen Konkordienformel, ohne deren Akzeptierung niemand in Tübingen ein kirchliches Amt erhalten konnte; als die Grazer Stiftsschule, die traditionell gute Beziehungen zu Tübingen unterhielt, sich in Tübingen um einen Landschaftsmathematicus erkundigte, wurde ihr KEPLER empfohlen, den man damit aus Tübingen entfernte. – KEPLER war auch nicht sonderlich von dem Angebot und dem Druck in Richtung Graz angetan – auch in Graz selbst hat er dann bitter geklagt.

Nach 20tägigem Fußmarsch ist KEPLER am 11. April 1594 in Graz angekommen, wo er erst einmal auf Probe für zwei Monate angestellt worden ist. Zu seinen Pflichten als Landschaftsmathematiker gehörte der Unterricht aus Mathematik und Astronomie an der Oberstufe der protestantischen Stiftsschule – ein Wahlfach! – sowie die Herausgabe eines Kalenders jährlich wie die Erstellung von Horoskopen und Prognostiken. Obgleich man KEPLER, wenn der Mathematikunterricht aus Mangel an Hörern entfiel, mit Rhetorikstunden beschäftigte, so blieb ihm doch sehr viel freie Zeit.

Kepler als Astronom – In Graz hat KEPLER den Grundgedanken seiner Konzeption des Sonnensystems gefasst – wir wissen es ganz genau, weil er es angegeben hat: am 19. Juli 1595 mitten im Unterricht. Im Jahr darauf, 1596, ist sein

– **Mysterium Cosmographicum** erschienen (genauer Titel: Prodromus dissertationum cosmographicarum continens: Mysterium cosmographicum"). KEPLERs Grundidee war die, dass die Erde das Maß aller Dinge sei und dass die sechs damals bekannten Planeten auf den Sphären der fünf regulären Körper, der PLATONischen [wissg-074-375::Körper] liegen müssten, denen eines gemeinsam ist, dass man sie nämlich in eine [wissg-07B-814::Kugel] einbeschreiben kann: "*Die Erde ist das Maß aller Bahnen. Ihr umschreibe einen Dodekaeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Mars. Der Marsbahn umschreibe ein Tetraeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Jupiter. Der Jupiterbahn umschreibe einen Würfel; die diesen umspannende Sphäre ist der Saturn. Nun lege in die Erdbahn ein Ikosaeder; die diesem eingeschriebene Sphäre ist die Venus. In die Venusbahn lege ein Oktaeder, die diesem eingeschriebene Sphäre ist der Merkur*". – "*Da hast du den Grund für die Anzahl der Planeten*" – es waren damals nur sechs Planeten bekannt. KEPLER hat zwar früh schon die Lücke zwischen Mars und Jupiter erkannt und auch geschrieben: "*Inter Jovem et Mars planetam interposui*", im Mysterium Cosmographicum hat er die Lücke aber nicht mehr in Rechnung gestellt.

KEPLER hat auf rein spekulativer Basis, zutiefst geprägt von pythagoräisch-platonischen Vorstellungen im Sinne des Neuplatonismus ein [wissg-07B-815::System] begründet, das zu erweisen er sein ganzes Leben hindurch bemüht war. Diese seine Bemühungen sind später noch weiterverfolgt worden mit der TITIUS-BODEschen Reihe[152]. KEPLER ist nicht induktiv, sondern deduktiv, geradezu spekulativ vorgegangen – er hat sich auch später diesbezüglich den Tadel Tycho BRAHEs zugezogen. Es imponierten KEPLER die

[152] Diese wurde vom Wittenberger Professor Johann Daniel TITIUS (1729-1796) entwickelt, indem er die Distanz Sonne-Saturn mit 100 Teilen ansetzte und meinte, der Merkur sei nun 4 solcher Teile von der Sonne entfernt, die Venus 4+3=7, die Erde 4+6=10, der Mars 4+12=16, der „leere" Raum der Planetoiden (in den KEPLER einen hypothetischen Planeten gesetzt hat) 4+24=28, Jupiter 4+48=52 und Saturn 4+96=100. Diese Vorstellungen sind durch den deutschen Astronomen Johann Elert BODE (1747-1826) bekannt gemacht worden. Die Entdeckung des Uranus 1781 bestätigte diese Reihe, und am 1. Jänner 1801 wurde auf Grundlage der Titius-Bode-Reihe vom Italiener PIAZZI in Palermo der größte der Planetoiden – Ceres, heute ein „Zwergplanet" – entdeckt, womit die Reihe geschlossen schien, während sich HEGEL eben in seiner "Dissertatio philosophica de orbitibus planetarum" darüber lustig gemacht hatte. Weniger günstig fiel dann das Ergebnis bei Neptun aus, der statt 388 Einheiten nur 300 Einheiten entfernt ist.

Kreisbahnen bei KOPERNIKUS, sie waren ihm Ausdruck der Einfachheit und Klarheit, die ihm nach den Lehren des von ihm verehrten PYTHAGORAS, aber auch PLATONs und ARISTOTELES' für die Struktur des Kosmos unabdingbar notwendig schienen: "*Die Lehren des* KOPERNIKUS *widersprechen der Natur der Dinge nicht nur nicht, sie dienen ihr vielmehr zur Stütze. Die Natur liebt die Einfachheit, sie liebt die Einheit. Nichts ist in ihr je untätig oder überflüssig [...] Nun ist aber bei den Hilfskreisen kein Ende abzusehen; bei* KOPERNIKUS *dagegen ergeben sich die meisten Bewegungen aus der Annahme von ganz wenigen Kreisen [...* so hat KOPERNIKUS*] uns einen unerschöpflichen Schatz von wahrhaft göttlichen Einsichten in die so herrliche Ordnung der ganzen Welt und aller Körper erschlossen*".

Die Diskrepanz zu den Äußerungen der Bibel hat KEPLER später nach dem Verbot des KOPERNIKUS-Werkes "De revolutionibus" im Jahre 1616 dahingehend angesprochen, dass er 1621 schrieb: "*Es ist etwas Großes um das Wort Gottes, gewiß; es ist aber auch etwas Großes um das Werk Gottes. Und wer wollte leugnen, daß das Wort Gottes seinem Zweck und daher der herkömmlichen Redeweise der Menschen angepaßt ist? Daher wird gerade der eifrigste Hüter der Religion am meisten davor hüten, in völlig offenkundigen Dingen das Wort so zu pressen, daß es das Werk Gottes ablehnt*".

1598 sind die protestantischen Lehrer und Prediger aus Graz ausgewiesen worden, indem ein Dekret angeschlagen wurde, demzufolge sie bis Sonnenuntergang die Stadt und binnen acht Tagen das Herzogtum Steiermark zu verlassen hatten. KEPLER geht nach Ungarn, seine Frau bleibt in der Stadt; im Oktober darf er als einziger, der dem Protestantismus nicht abschwören muss, in die Stadt zurück, da sich maßgebliche Katholiken für ihn eingesetzt hatten. KEPLER weiß aber, dass es nur um einen Aufschub geht, er will nach Tübingen, aber dort gilt er eben, weil er nach Graz zurückkehren durfte, als verdächtig. So fragt KEPLER bei BRAHE in Prag an, der ihn trotz seiner Kritik an KEPLERs Methode sofort auffordert, zu ihm zu kommen. Am 4. Februar 1600 trifft KEPLER bei BRAHE auf Schloss Benatek ein. – Während so bei Prag die beiden ersten Astronomen ihrer Zeit das Für und Wider hinsichtlich der Lehre des KOPERNIKUS erörtern, wird in Rom am 17. Februar 1600 Giordano BRUNO wegen seines Bekenntnisses zu KOPERNIKUS verbrannt.

KEPLER und der nahezu doppelt so alte BRAHE mussten sich erst zusammenraufen. KEPLER ist noch einmal nach Graz zurückgekehrt, wo ihn am 27. Juli 1600 die zweite und endgültige Ausweisung trifft: Landesverweisung innerhalb von 40 Tagen. KEPLER ist im Herbst 1601 endgültig nach Prag gezogen und hat wenig später in gemeinsamer Audienz mit BRAHE von RUDOLF II. den Auftrag für die Erstellung neuer Planetentafeln erhalten, die als Rudolfinische Tafeln bezeichnet werden sollten (nach dem Vorbild wohl der Alfonsinischen Tafeln). Bald darauf ist BRAHE unvermutet gestorben[153] – zuvor noch beschwor er KEPLER, er möge die Planetenbewegungen nicht nach dem System des KOPERNIKUS darstellen, sondern nach seinem, BRAHEs System.

Obgleich KEPLER zwei Tage nach Tod BRAHEs bereits von RUDOLF II. zu BRAHEs Nachfolger als Hofastronom ernannt worden ist, hat sich doch die Übergabe des Nachlasses von BRAHE an KEPLER sehr langwierig gestaltet – "*Wie ein Hund vor der Futterkrippe, der das Heu nicht frißt, es aber auch keinem anderen vergönnt*", so charakterisierte KEPLER den Schwiegersohn BRAHEs, Sebastian TENGNAGEL.

In Prag hat KEPLER den wesentlichen Teil der Arbeit geleistet, die er sich im Mysterium Cosmographicum in Graz vorgenommen hatte; so stellte er 1603 seine

– **Astronomiae pars optica** (= Der optische Teil der Astronomie) fertig, in welchem Werk KEPLER die Abnahme des Intensität des Lichtes mit dem Quadrat der Entfernung feststellt und eingehend von der Refraktion handelt. Am Neujahrstag 1604 hat KEPLER die 450 Quartseiten umfassende Handschrift RUDOLF II. überreicht, bald darauf erschien es im Druck.

KEPLER ist mit dieser Arbeit und mit der Erzherzog FERDINAND II. [wissg-07B-816::gewidmeten] Schrift

– **Ad Vitellionem Paralipomena**[154], 1604, in der er die älteren Optiker korrigierte[155] und beinahe das optische Brechungsgesetz fand[156], und vor allem mit der nach der ersten Anwendung des neuen Fernrohrs 1611 erschienen Arbeit

---

153 Die 2005 verbreitete Theorie, dass KEPLER Tycho BRAHE vergiftet habe, hat wohl den Verkauf des einschlägigen Werkes gefördert, ansonsten aber keinen Wert.

154 Ein Exemplar dieses Werkes hat KEPLER Erzherzog FERDINAND (II.) gewidmet, es befindet sich heute in der Universitätsbibliothek Graz.

155 KEPLER war beeinflusst vom Anatomen Felix PLATTER (1536-1614), der ihn bewog die Lichtempfindlichkeit in der Retina und nicht in der Linse anzusiedeln; s. Gül A. Russell, The emergence of physiological optics. In: EHAS II 672-715, 672.

– **Dioptrice**, Dioptrik (Lehre von der Lichtbrechung und von der astronomischen Beobachtung mit Hilfe des Fernrohrs)

zum Begründer der modernen Optik geworden; auf ihm bauen HUYGHENS und NEWTON auf.

Im Herbst 1604 hat KEPLER im Zusammenhang mit einer Konjuktion von Saturn, Jupiter und Mars einen plötzlich auftretenden neuen Stern – eine Supernova – beobachtet und diese Erscheinung dem Bereich der Fixsterne zugeordnet (astrologische Spekulationen lehnte er ab) – 1609 erschien seine Publikation

– **De stella nova**.

Im selben Jahr 1609 erschien das vermutlich um 1606 bereits weitgehend fertiggestellte und vielleicht bedeutendste Werk KEPLERs, nämlich die

– **Astronomia nova de motibus stellae Martis ex observationibus Tychonis Brahe**, auch als "**Physica coelestis**" unterbetitelt. Auf 337 Großfolioseiten enthält diese Handschrift, die er RUDOLF II. widmete und die bald darauf [wissg-07B-818::gedruckt] wurde, das Erste und das Zweite **Keplersche Gesetz**[157], wobei sich KEPLER der Umwälzung völlig bewusst war, wenn er im Vorwort schreibt: "*Ich bringe eine Physik des Himmels anstelle einer himmlischen Theologie und der Metaphysik des* ARISTOTELES": von 1602 bis 1609 hatte KEPLER an der ungeheuer aufwendigen und komplizierten Berechnung der Marsbahn gearbeitet, lange ergebnislos, bis es ihm gelang, Erdörter und Marspositionen in geeigneten trigonometrisch berechenbaren Positionen festzustellen. Im Vorwort schreibt KEPLER diesbezüglich in seiner blumigen Sprache: "*Die Astronomen wußten diesen Kriegsgott nicht zu überwältigen; aber der treffliche Heerführer Tycho hat in 20jährigem Nachtwachen seine Kriegslisten erforscht, und ich umging mit Hilfe des Laufes der Mutter Erde alle seine Krümmungen*". Die Berechnungen KEPLERs ergaben als Summe der Marsörter erst eine Ovoide (Ei-Kurve) oder Ellipoide und schließlich eine Ellipse; Kepler, der fest mit der Nachweisung der Kreisbahn rechnete, betrachtete ursprünglich alle Abweichungen von dieser als Fehler in seiner Arbeit, bis er erkennen musste, dass sich eindeutig eine Ellipse ergab, in deren einem Brennpunkt die Sonne stand (= ERSTES KEPLERsches GESETZ). Rasch vermochte KEPLER dann diese Entdeckung auf die anderen Planeten auszudehnen. Nicht unerheblichen Anteil an diesem Prozess hatte KEPLERs Briefpartner David FABRICIUS[158]. Das Zweite KEPLERsche Gesetz, den Flächensatz, hat KEPLER auf rein spekulativem Weg gefunden und erst nachträglich bewiesen. Die „Astronomia nova“ ist – sieht man emphatisch-mystischen Vorwort ab – in der Sprache der "modernen" Mathematik geschrieben; KEPLER hat keine Rücksicht genommen auf den Laien und Nichtmathematiker.

Die „Astronomia nova“ steht am Ende der beobachtenden Astronomie vor der Einführung des Fernrohrs und des Teleskops; in diesem Sinne ist sie die abschließende Leistung jahrtausendelanger astronomischer Arbeit. Im Jahr nach ihrem Erscheinen, 1610 hat Galileo GALILEI in seinem "Nuntius Sidereus" die Entdeckung der Venusphasen und der Jupitermonde mitgeteilt, die auf die Anwendung des Fernrohrs zurückzuführen waren. KEPLER antwortete mit seiner „Dissertatio cum nuntio sidereo“.

Obgleich KEPLER selbst keine Beobachtungen durchführen konnte, hat er den technischen Fortschritt des Fernrohrs sofort aufgegriffen und noch im selben Jahre 1610 Kaiser RUDOLF II. durch ein vom Prager Instrumentenmacher H. STOLLE gebautes Fernrohr den Mond betrachten lassen. In seiner schon erwähnten 1611 fertiggestellten "Dioptrice" hat KEPLER die Theorie des holländischen Fernrohrs geboten und etliche Verbesserungsvorschläge gemacht, auf denen das nach ihm benannte **Keplersche Fernrohr** beruhte, das ein astronomisches Fernrohr mit zwei Sammellinsen (gegenüber einer bei GALILEI) und einer dementsprechend besseren Vergrößerung war[159] und das in der Folge von HUYGHENS weiter verbessert worden ist.

---

156 Seine Entdeckung erfolgte etwa 20 Jahre später durch SNELLIUS; DESCARTES hat es wirklich bekannt gemacht.

157 Hierzu eine [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph11/grundwissen/09_keplergesetze/keplergesetze.htm::übersichtliche Darstellung] der Keplerschen Gesetze von der Universität München.

158 DAVID FABRICIUS (1564-1617) war Theologe und Astronom in Ostfriesland, der schon mit Tycho BRAHE in Kontakt gestanden hatte; seine Korrepsondenz mit Kepler (etwa 40 Briefe) bezieht sich wesentlich auf die Marsberechnungen. Sein Sohn JOHANN FABRICIUS zählte zu den ersten, die Sonnenflecken beobachteten.

159 Als ältestes bekanntes Exemplar ist jenes aus dem Besitz der Jesuitenastronomen Christoph SCHEINER aus dem Jahre 1613 erhalten.

Mit der Krönung des MATTHIAS zum König von Böhmen am 23. Mai 1611 und endgültig mit RUDOLFs II. Tod am 19. Jänner 1612 waren die Tage der Toleranz auch in Böhmen zu Ende und KEPLERs Aufenthalt in habsburgischen Ländern neuerlich gefährdet. So sah er sich neuerlich um und strebte nach Tübingen, wo der Herzog bereit war, ihn anzustellen, die Theologen aber ihr Veto einlegten: KEPLER sei den Calvinisten gegenüber zu tolerant. So bewirbt sich KEPLER neuerlich um die Stelle eines Landschaftsmathematicus, diesmal in Linz, wo er mit 11. Juni 1611 angestellt wird, doch RUDOLF hält ihn noch in Prag fest und auch MATTHIAS bestellt ihn dann ausdrücklich zum kaiserlichen Mathematiker, KEPLER aber geht nach Linz – in Prag stirbt 1611 seine Frau am Fleckfieber.

In Linz, wo KEPLER ab 1611/12 bis 1627 in Dienst stand[160], hat man von ihm ursprünglich Enormes verlangt: er sollte das Land Oberösterreich vermessen und eine Karte, eine Landesaufnahme von Österreich, Kärnten und Steiermark durchführen, als Lehrer der Mathematik, Philosophie und der Geschichte wirken. Tatsächlich hat KEPLER große Strapazen und Märsche auf sich genommen, ist auch von Bauern angegriffen worden, bis die Stände schließlich einsahen, dass er vielleicht doch besser an den Rudolfinischen Tafeln arbeiten sollte, und die Landesaufnahme dem ständischen Ingenieur Abraham HOLZWURM übertrugen. KEPLER hat dennoch in Linz eine Reihe wichtiger Arbeiten fertiggestellt:

Als Kalendermacher hat KEPLER 1612 den Regensburger Reichstag in Sachen **Kalenderreform** (trat als Protestant dafür ein!) beraten, 1613 hat er

– **Über das wirkliche Jahr, in welchem Gottes Sohn im Leibe Mariä Menschengestalt annahm"** (1613) geschrieben und aus astronomischen Gründen das Jahr 5 vChr als Geburtsjahr Jesu angesetzt[161].

In jenen Jahren machte er sich an die Erstellung zusammenfassender Werke. 1618 erschienen KEPLERs

– **Epitome Astronomiae Copernicanae** (= Grundriss der Kopernikanischen Astronomie, **1. Teil**), es ist dies ein Dialog, in dem KEPLER erstmals die moderne Sicht des Sonnensystems in ihrer Gesamtheit entwickelt, indem er die Beweise für die Erdrotation bringt (er vergleicht dabei die Erde mit einem Kreisel), die Anwendung auch der aus der Marsbahn gewonnenen Einsichten für die übrigen Planeten, von der Eigenbewegung der Fixsterne spricht und zwischen tropischem und siderischem Jahr unterscheidet – das Werk ist bereits im Folgejahr 1619 auf den kirchlichen Index gesetzt worden, weil es das kopernikanische System vertrat. In der Einleitung hat Kepler seine Ansicht von den Aufgaben und der Vorgehensweise eines Astronomen erläutert und diesbezüglich festgestellt, es gebe fünf Aufgabenbereiche:
  * Einen historischen, der sich mit Aufzeichnungen und der Klassifizierung von Beobachtungen befasse,
  * Einen optischen, der sich mit der Auseinandersetzung mit den Hypothesen befasse,
  * Einen physikalischen, der sich mit den den Hypothesen zugrundeliegenden Ursachen befasse,
  * Einen arithmetischen, der sich mit den Tafelwerken und den Berechnungen befasse, und
  * Einen mechanischen, der sich mit den Instrumenten befasse.
– 1621 hat KEPLER den **2. Teil** mit der Behandlung der Sonne, der Planetentheorie etc. folgen lassen.

Die Epitome sind die systematische Darstellung des gesamten Lehrgebäudes der Astronomie, wie es Kepler errichtet hat. Sie waren auf lange Zeit das gängige und selbst noch um die Mitte des 19. Jhs mit nur geringen Änderungen mögliche Lehrbuch der Astronomie. – Obgleich hier von Physik und weniger von Mystik die Rede ist, vertritt doch auch hier KEPLER die Ansicht, dass die Erde das natürliche Maß für alle kosmischen Entfernungen und Größen sein müsse – weil auf ihr Wesen leben, die Messungen vornehmen können.

Zwischen den beiden Teilen der Epitome hat KEPLER 1619 in Linz sein wohl berühmtestes Werk veröffentlich, nämlich die

– **Harmonices Mundi Libri quinque** (Weltharmonik), in deren [wissg-07B-820::5. Buch] sich im 3. Kapitel das DRITTE KEPLERSCHE GESETZ findet (Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die dritten Potenzen der mittleren Abstände), das die Grundlage sein sollte für NEWTONS

---

160 Die Familie musste allerdings in den 1620er Jahren wegen der Verschuldung KEPLERs nach Ulm fliehen, ehe KEPLER in WALLENSTEINs Dienst trat. Die Jahre ab 1615 waren durch den Hexenprozess gegen KEPLERs Mutter Katharina überschattet, zu dem KEPLER möglicherweise durch seinen Roman „Mondreise" beigetragen haben mag und der ihn viel Kraft gekostet hat, bis er seine Mutter 1620 freibekommen konnte; sie ist allerdings 1621 an den Folgen der Foltern gestorben.

161 Heute fasst man diesbezüglich die Jahre 4-7 vChr ins Auge. Das heutige Jahr 1 beruht auf einem Rechenfehler.

Gravitationsgesetz. Die Idee dazu ist KEPLER nach seiner eigenen Aussage am 8. März 1618 gekommen – die erste Berechnung scheiterte, am 15. Mai nahm er die Spur wieder auf und die Idee "*besiegte in einem neuen Anlauf die Finsternis meines Geistes, wobei sich zwischen meiner siebzehnjährigen Arbeit an den Tychonischen Beobachtungen und meiner gegenwärtigen Überlegung eine so treffliche Übereinstimmung ergab, daß ich zuerst glaubte, ich hätte geträumt und das gesuchte in den Beweisunterlagen vorausgesetzt*".

Die „Harmonices mundi" sind der Abschluss dessen, was KEPLER im „Mysterium cosmographicum" 1595/96 begonnen hatte – er hat deshalb auch dieses Werk im Zusammenhang mit den „Harmonices mundi" neu auflegen lassen (als Prodromus gewissermaßen). Das Werk ist in fünf Bücher gegliedert, und sein Inhalt erweist Kepler als einen Denker und Astronomen der Spätrenaissance und immer noch an der Grenze zwischen Antike und Mittelalter einerseits und der Neuzeit andererseits:

1. Buch: Geometrisches Buch, es handelt von den regulären Figuren und Körpern als Grundlagen der harmonischen Proportionen,
2. Buch: Architektonisches Buch, baut auf dem 1. Buch auf, handelt auch von Kongruenzen in der Ebene und im Raum
3. Buch: Harmonisches Buch, bezieht nun in Fortsetzung der Bemühungen des PYTHAGORAS auch die Musik in die Betrachtung der Proportionen und der Harmonie ein – das Buch enthält praktisch eine naturwissenschaftlich-mathematisch fundierte Harmonielehre, KEPLER ordnet den Planeten Melodien zu
4. Buch: Metaphysisches, psychologisches und astrologisches Buch, handelt insbesondere von der Harmonie der Strahlen, die von Himmelskörpern auf die Erde einwirken und von ihren Einwirkungen auf die Natur – wie etwa das Wetter – und die sublunarische und die menschliche Seele
5. Buch: astronomisches und metaphysisches Buch, es handelt von den vollkommenen Harmonien der Himmelsbewegungen und von Ursprung der Exzentrizitäten der Bahnen in den harmonischen Proportionen; das dritte Kapitel dieses Buches beinhaltet das Dritte KEPLERsche Gesetz[162].

Anhang: hier zieht KEPLER einen Vergleich zwischen seiner Darstellung und der des PTOLEMAIOS wie den harmonischen Betrachtungen des Robert FLUDD[163] .

KEPLER ist ein materialistisch-naturwissenschaftliches, ein rein physikalisches Weltbild zu wenig – er war ja schließlich Theologe. So greift er die Idee einer Weltseele im Sinne der Lehren PLATONs auf und verschmilzt sie mit dem Christentum – für den von ihm für wahrscheinlich angesehenen Fall der Existenz einer Weltseele "*hat sie, wie mir scheint, ihren Sitz im Weltmittelpunkt, der für mich die Sonne ist; von diesem aus verbreitet sie sich in alle Weiten durch Vermittlung der Lichtstrahlen, die an die Stelle der Lebensgeister im beseelten Körper treten*". – KEPLER ist noch weiter gegangen, indem er die Frage nach dem Namen des Sonnengeistes stellte, der ihm als Ormuzd, Osiris, Apollo und Baldur geläufig war. Trotz der damit verbundenen Gefahr hat KEPLER diese Gedanken weitergeführt: "*Jawohl, ich überlasse mich heiliger Raserei. Ich trotze höhnend den Sterblichen mit dem offenen Bekenntnis: Ich habe die goldenen Gefäße der Ägypter geraubt, um meinem Gott daraus eine heilige Hütte einzurichten, weitab von der Grenze Ägyptens*" – am Ende der Weltharmonik setzt er fort: "*die Sonne ist wohl in Wahrheit nicht die Königin selbst, wohl aber das Königsschloß, in dem das Feuer des Geistes herrscht!*" Wie der Sonne hat KEPLER auch der Erde eine Seele zugesprochen:

Da nun aber Erde und Mensch eine Einheit innerhalb der Gesamtnatur bilden, haben beide für KEPLER die Fähigkeit einer unbewussten Natur- bzw. Weltwahrnehmung.

KEPLER hat lange Zeit an den späteren Rudolfinischen Tafeln gearbeitet; vermutlich waren sie in großen Zügen schon relativ früh fertig, da er schon 1617 einen ersten Band Ephemeriden herausgeben konnte, der auf die Tafeln gestützt war. Dem kaiserlichen Leibarzt MINGONIUS hat er damals geschrieben, er

---

[162] Das Verhältnis der Quadrate der Umlaufzeiten zweier verschiedener Planeten ist genau so groß wie das Verhältnis der dritten Potenzen ihrer großen Halbachsen. Diese Formulierung findet sich bei Kepler allerdings nicht in dieser klaren Form.

[163] . FLUDD, 1574-1637, studierte in Oxford Medizin, war von Kabbala, Rosenkreuzern beeinflusster Anhänger des PARACELSUS, "Utriusque cosmi, majoris et minoris, metaphysica, physica atque technica historia" erschien 1617, verfasste auch eine 1638 publizierte "Philosophia mosaica".

wolle die Ephemeriden für 37 Jahre in die Vergangenheit und für 50 Jahre in die Zukunft berechnen. Bei der Errechnung der Ephemeride für 1620 hat KEPLER erstmals Logarithmen verwendet, weshalb er den Band auch NAPIER gewidmet hat. Wenig später – 1624 – hat KEPLER seine eigenen, den astronomischen Bedürfnissen angepassten Logarithmen herausgebracht (s.u.). Die

– **Tabulae Rudolfinae** sind 1627 endlich erschienen, nachdem ihr Druck aus finanziellen Gründen verzögert worden war; erst nach seiner Übersiedlung von Augsburg nach Ulm auf Grund der Anfeindung durch die Augsburger Jesuiten konnte KEPLER den Druck bewerkstelligen. Die Tabulae nannten in der Widmung Tycho BRAHE als ihren Urheber, KEPLER hat allerdings dann doch darauf hingewiesen, dass damit auch seine Arbeit vorgelegt würde. Die Tafeln wurden für mehr als ein Jahrhundert die Grundlage für alle Berechnungen im Sonnensystem; man konnte aus ihnen die Stellung aller Planeten, der Sonne und des Mondes für jeden beliebigen Zeitpunkt entnehmen. Dies hat sie für die Navigation besonders wertvoll gemacht. Der Band enthielt darüber hinaus aber auch eine Refraktionstafel, einen Katalog von 1000 Fixsternen und eine Logarithmentafel. – Die Tabulae Rudolfinae haben allerdings recht bald Konkurrenz erhalten in den Tafeln von LANSBERG, nach denen der englische Astronom Jeremiah HORROX (1618-1641) im Jahre 1639 als Erster einen [wissg-081-934::Venusdurchgang] beobachtete, der den KEPLERschen Tafeln jedoch nicht zu entnehmen gewesen war.

KEPLER hat in seinen späteren Jahren an einem großen Werk über die Bestimmung der Größe und der Entfernung der Sonne von der Erde gearbeitet – wir wissen nichts Näheres darüber.

Kepler als Mathematiker – Über KEPLERs ganz außerordentlicher Bedeutung als Astronom dürfen nicht seine **Leistungen als Mathematiker** außer Acht gelassen werden. Es ist hier auf folgende Schriften hinzuweisen:

– **Chilias Logarithmorum ad totidem numeros rotundos**, welche Arbeit er 1621 auf 1622 fertiggestellt hat, die 1624 gedruckt wurde und die eine Logarithmentafel von 1-1000 enthielt
– **Demonstratio structurae logarithmorum** in 30 Lehrsätzen. KEPLER hat diese Tafeln MÄSTLIN nach Tübingen zur Drucklegung geschickt, der aber hat sie lange liegen lassen; so sind sie erst durch den Landgrafen PHILIPP VON HESSEN – ohne Wissen KEPLERs – gedruckt worden. Den Druck der von ihm geplanten erweiterten Tafeln hat KEPLER nicht mehr erlebt, die hat sein Schwiegersohn Jakob BARTSCH herausgebracht.

Mit KEPLERs Person sind auch Anfänge der **Infinitesimalrechnung** verknüpft. 1596 schon hat er sich im „Mysterium cosmographicum“ und weiterhin auch in anderen Schriften bis zu den Harmonices mundi mit Sternvielecken und anderen Körpern beschäftigt, die ihn in die Nähe dieser Problematik führten. 1615 hat KEPLER in Linz die

– **Nova Stereometria Doliorum vinariorum** – „Neue Raummeßkunst für Weinfässer“ herausgebracht: 1612 hatte es ein sehr gutes Weinjahr gegeben und KEPLER hatte einige Fässer Wein gekauft und war verwundert, wie nachlässig man bei der Messung des Inhalts war, worauf er dieses Werk schrieb, und zwar in lateinischer Sprache. Als der Augsburger Verleger WELSER den Druck verweigerte, ließ es KEPLER auf eigene Kosten in Linz drucken – bekannter geworden ist freilich die deutsche Ausgabe von 1616. Und doch ist die lateinische Doliometrie KEPLERs die Grundlage und „*Quelle aller späteren Kubaturen geworden*“ (Cantor). KEPLER begründete damit die Bestimmung des Rauminhaltes von Rotationskörpern unterschiedlicher Querschnitte – PAPPOS und GULDIN hatten die Volumina „regelmäßiger“ Rotationskörper (wie etwa einen Torus Kreisring) nach der Regel berechnet, dass das Volumen dem Produkt aus der rotierenden Fläche und dem Weg des Schwerpunkts dieser Fläche gleich sei. KEPLERs Doliometrie zerfällt in drei Teile:
  * *Stereometria Archimedea* (mit dem Supplementum ad Archimedem), in welchem Abschnitt 92 Rotationskörper untersucht werden, die z.T. nach Früchten benannt werden, denen sie gleichen (Zitrone, Olive, Apfel etc.)
  * *Stereometria dolii Austriaci in specie*, die Behandlung der Gestalt der in Österreich üblichen Weinfässer,
  * *Usus totius libri circa dolia*, dieser Abschnitt führt in die praktische Umsetzung der Ergebnisse ein.

KEPLER ging dabei vom zweidimensionalen Problem der Kreisfläche und der Quadratur des Kreises aus, indem er den Kreis in eine unendlich große Zahl von gleichschenkeligen und flächengleichen Dreiecken zerlegt sich dachte und nun den Umfang des Kreises auf einer Geraden abrollte (= $2r\pi$), die er als Grundlinie eines flächengleichen Dreiecks annahm, dessen Höhe natürlich der Radius sein musste, woraus sich als Fläche ergab: $F = 2r.\pi.r/2 = r^2.\ \pi$. Eben diese Methode hat KEPLER auch auf Volumina von Körpern angewendet: das Volumen etwa eines Kreisringes setzt sich aus unendlich vielen "Torten"stücken zusammen, die durch Umwandlung leicht zu berechnen sind; schließlich ergibt sich das Volumen des Kreisringes als das Produkt von Fläche und dem Weg des Mittelpunkts (= Schwerpunkts GULDIN!). KEPLER hat auch das Volumen des Apfels und der Zitrone als Rotationskörper berechnet. Er formulierte in Zusammenhang mit diesen Überlegungen: "*daß an jenen Stellen, wo der Übergang von einem Kleineren zum Größeren und wieder zum Kleineren stattfindet, der Unterschied bis zu einem gewissen Grade unmerklich ist*".

CANTOR (II 829) formuliert in Bezug auf die Doliometrie, dass dieses Werk „*als ein für die Entstehung der Infinitesimalrechnung grundlegendes in dem Sinne gelten muss, als die Zerlegung eines Raumes in Elementartheile und deren Vereinigung zu einer Summe der Lehre von den bestimmten Integralen vorgriff, und als das Hauptmerkmal ausgesprochen war, welches mit dem Vorhandensein eines Maximalwertes verbunden ist*“. Die Doliometrie ist von zahlreichen Mathematikern mit größter Aufmerksamkeit studiert worden, u.a. von Henry BRIGGS, der KEPLER 1625 den logarithmischen Beweis seiner Berechnungen zugesendet hat.

KEPLER steht damit mitten in der zentralen zeitgenössischen mathematischen Problematik.

Kepler als Astrologe – Kepler war – wie fast alle Astronomen vor ihm – auch als Astrologe tätig. Als solcher hat er das mathematisch exakte, auf Stunde und Minute berechnete Horoskop im Sinne gewissermaßen eines „empirisch-rationalen“ Kosmogramms gefordert, dessen Interpretation allerdings eine andere Sache als die der Berechnung war. KEPLER hat in recht unterschiedlicher, meist aber negativer Weise zur Astrologie, die er als „närrisches Töchterlein der Astronomie“ apostrophiert hat, Stellung genommen; seine Grundauffassung ist die: die Sterne zwingen nicht, sie machen nur geneigt. Berühmt ist sein [wissg-07B-821::Horoskop] für WALLENSTEIN, das er diesem 1608 und nochmals 1625 gestellt hat und in dessen Gutachten er WALLENSTEIN den Glauben zu nehmen trachtete, er – KEPLER – könne ihm sein Schicksal in allen Einzelheiten voraussagen – schon wer so frage, ist "*noch nie recht in die Schul gegangen und hat das Licht der Vernunft, das ihm Gott angezündet, noch nie recht geputzet*". – WALLENSTEIN hat sich das von KEPLER bieten lassen, ja ihn sogar später in seine Dienste gezogen.

KEPLERs späte Lebensumstände waren schwierig. In seine Linzer Jahre fällt der Hexenprozess gegen seine Mutter Katharina, um die er lange Jahre kämpfte, bis er 1620 ihre Freilassung erwirkte (doch starb sie im Jahr darauf an den Folgen der Folter); er verschuldete sich (obgleich er große Rückstände beim Kaiser hatte) mehr und mehr, sodass die Familie schließlich nach Ulm fliehen musste; KEPLER trat schließlich 1627 in WALLENSTEINs Dienste und zog nach Sagan. 1628 setzte aber auch auf den WALLENSTEINschen Gütern in Böhmen die Gegenreformation ein; auch wenn man KEPLER in Sagan in Ruhe ließ, musste er sich bedroht fühlen. Dazu schuldete ihm WALLENSTEIN als Rechtsnachfolger des Kaisers nahezu 12.000 Gulden. Als 60jähriger ist KEPLER nach der Absetzung WALLENSTEINs von Sagan aus nach Regensburg zu dem auf dem Reichstag weilenden Kaiser geritten, um sein Geld einzutreiben – er hatte eine Barschaft von 4 fl bei sich. Am 15. November 1630 ist KEPLER – ohne an den Kaiser herangekommen und sein Geld erlangt zu haben – in Regensburg nach kurzer Krankheit verstorben und dort begraben worden. Sein Grabspruch – von ihm selbst entworfen – lautete: "*Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras/ Mens coelestis erat, corporis umbra jacet*" – „Einst maß ich die Himmel, nun meß ich die Schatten (Tiefen) der Erde/ Himmlischen Lebens mein Geist, Schatten mein Leib, der hier liegt". – Sein Grab ist drei Jahre später durch die Schweden zerstört worden.

Keplers Nachlass – Eigenartig war das Schicksal von KEPLERs Nachlass: über seinen Sohn gelangte er nach Königsberg, wo dieser 1663 starb, worauf der Enkel die Materialien an den Danziger Astronomen Johannes HEVELIUS verkaufte, von dem er um nur 100 fl an einen Michael HANSCH gelangte, der 1718 mit Unterstützung durch KARL VI. den ersten Band einer Gesamtausgabe der KEPLERschen Werke herausbrachte, wofür er drei Manuskriptbände nach Wien brachte, während 19 Bände Manuskripte 1721

um 828 fl in Frankfurt versetzt wurden. 1769 wurde der Nachlass wieder entdeckt und 1774 erwarb ihn die Zarin KATHARINA II., die ihn der Petersburger Akademie schenkte, wo er unbeachtet blieb, bis er in die Sternwarte Pulkowa gebracht und um 1850 der Benützung zugänglich gemacht wurde.

3.2.3.1 DAS FERNROHR

Linsen waren im Altertum wohl unbekannt, auch wenn man ein in Ninive gefundenes Bergkristallstück und einen Smaragd Neros als solche hat betrachten wollte. Um 1280/90 wurde die Brille (< Beryll) erfunden – angeblich durch einen Florentiner. Die Linsen waren ursprünglich in Lederlappen eingenäht, die von der Mütze herunterhingen, erst im 15. Jh wird eine Brille in unserem Sinne auf die Nase gesetzt. Um 1550 wurde dann der Vergrößerungseffekt entdeckt, 1589 hat Giovanbattista Porta Gegenstände mit Hilfe zweier Linsen vergrößert, 1590 hat der Brillenmacher Zacharias Jansen in Middelburg das vermutlich erste Mikroskop gebaut, das er dem damaligen Statthalter der Niederlande, Erzherzog Ernst von Österreich, vorstellte.

Die Herstellung des ersten Fernrohrs ist nicht ganz geklärt, sie erfolgte aber spätestens 1608 – in diesem Jahr noch war das Fernrohr (1 Rohr, 1 Konvex- und 1 Konkavlinse) auf der Frankfurter Messe zu sehen. 1608 auch hat ein Johannes Lippersheim von den Generalstaaten ein Patent für die Konstruktion von Fernrohren erhalten, die sofort in den Handel kamen. Im August 1609 hat jedenfalls Galilei der Signorie von Venedig ein Fernrohr [wissg-07B-822::vorgeführt] – das Fernrohr war natürlich sofort in seiner eminenten nautischen und militärischen Bedeutung erkannt worden. Kurze Zeit darauf folgten Galileis erste astronomische Beobachtungen mit Hilfe des Fernrohrs (s.w.u.) und dann dessen Verbesserung durch Kepler. Sehr rasch sind in der Folge [wissg-07B-827::riesige Fernrohre] gebaut worden.

Galileo Galilei (1564 – 1642)

GALILEIS[164] Vater war Tuchhändler und Musiktheoretiker, der sich in den späten 1580er Jahren – als GALILEI bereits erhebliche mathematische Kenntnisse erworben hatte – experimentell mit dem Zusammenhang zwischen Saitenspannung und Tonhöhe befasste und seinen Sohn damit offensichtlich prägend beeinflusst hat[165]. GALILEI studierte, nachdem sein Vater ihn vom Eintritt in ein Kloster abgehalten hatte, von 1580 an in Pisa an der Artesfakultät[166] (die Mathematik war damals nicht besetzt, sodass die Naturphilosophie hauptsächlich vom Aristoteliker BUONAMICI vorgetragen wurde) und mag dort Andrea CESALPINO gehört haben; GALILEI war an der Medizin nicht interessiert und studierte außerhalb der Universität bei einem Mathematiker aus der Schule TARTAGLIAS, Ostilio RICCI. Nach seiner Rückkehr nach Florenz setzte er seine mathematischen Studien fort und finanzierte sein Leben mit Privatunterricht in Florenz und in Siena. Er befasste sich neben der Mathematik mit deren Anwendung, mit Mechanik und Hydraulik und hielt diesbezüglich öffentlich Vorträge, unter anderem über die Örtlichkeit von DANTEs Inferno. Auch baute er exzellente Instrument und verkaufte sie, u.a. Thermometer. In dieser Zeit ist auch seine erste eigentlich wissenschaftliche Arbeit, die kleine [wissg-081-937::Schrift]

– **La bilancetta**, entstanden, die dem von ARCHIMEDES überlieferten Problem der Feststellung des Goldgehaltes der für HIERON VON SYRAKUS gefertigten Krone galt, das so wie es bei ARCHIMEDES geschildert ist, nicht gelöst worden sein kann; GALILEI erfand in diesem Zusammenhang die hydrostatische Waage[167].

1589–1592 war GALILEI Lektor der Mathematik an der Universität Pisa, mit einem minimalen Salär und ohne Aussicht auf Verlängerung, zumal er sich durch Angriffe auf die peripatetisch eingestellten Professoren und auf das Tragen von Talaren verhasst machte; falls er das Experiment am Schiefen Turm tatsächlich ausgeführt haben sollte, war es wohl als ein Angriff auf seine Kollegen gedacht. In dieser Zeit

---

164 Geburtsdatum ist 15. Februar 1564 – nicht der oftmals angegebene 18.2. = Todestag des Michelangelo. S. dazu William R. SHEAs Beitrag in Ueberweg (Philosophie des 17. Jhs, Bd. 1/2).

165 Die Darstellung folgt wesentlich Stillman DRAKEs Beitrag in DSB sowie SHEAs in Ueberweg.

166 Und nicht, wie verschiedentlich behauptet worden ist, an der Medizinischen – Shea 781.

167 Bei der hydrostatischen Waage befindet sich eine Waagschale in einem Wassergefäß, mit ihrer Hilfe kann das Gewicht des verdrängten Wassers ermittelt werden. – Später, 1614, hat GALILEI das spezifische Gewicht von Luft in Relation zu Wasser als ein 660stelrichtig: 1/773) bestimmt.

verfasste GALILEI eine Schrift gegen die aristotelische Dynamik, die an sich unbetitelt blieb, aber allgemein mit „De motu“ bezeichnet wird. Darin ging er das Problem des fallenden Körpers im Sinne der Auftriebstheorie des ARCHIMEDES an, was vor ihm schon BENEDETTI angeregt hatte, vermochte die Frage aber nicht wirklich zu lösen, da er das Phänomen der Beschleunigung nicht berücksichtigte; dies war vermutlich der Grund dafür, dass die Arbeit nicht publiziert wurde. Ein Fortschritt allerdings war, dass GALILEI hier bereits – anders als alle seine Vorgänger – die Bewegung in unendlich kleine Schritte zu zerlegen suchte. Außerdem setzte er sich über die aristotelische Zweiteilung der Bewegung in sublunare und supralunare hinweg, indem er die Gestirnbewegung weder als „natürlich“ noch als „erzwungen“, sondern als neutral erklärte. Dasselbe tat er hinsichtlich aller Bewegungen auf einer horizontalen Ebene und auch auf imaginären, mit der Erde konzentrischen Sphären; dies führte ihn zu einem (eingeschränkten) Konzept von Trägheit. In „De motu“ operierte GALILEI noch mit dem geozentrischen System und war anfangs auch noch der Auffassung, dass die Beschleunigung von der Dichte des Körpers abhänge, wie dies ja auch ARISTOTELES postuliert hatte.

GALILEI hat bedingt eingelöst, was nach ihm bzw. zeitgleich FRANCIS BACON gefordert hat: die auf Experimente gegründete Erforschung der Natur: „*Darum, Signore Simplicio, bringt uns Eure Beweise oder des* ARISTOTELES *Gründe und Beweise, nicht aber Zitate und Autoritäten; denn unsere Untersuchungen haben die Welt der Sinne zum Gegenstand, nicht eine Welt von Papier*“, heißt es im Dialogo[168]. Wenn sich GALILEI auch sinnreicher Experimentalanordnungen bediente, die ihm gezielt spezifische Naturvorgänge besser beobachtbar machten – z.B. den freien Fall in Gestalt der Bewegung einer rollenden Kugel auf der Schiefen Ebene, wo der Vorgang verlangsamt abläuft und damit auch für damalige Möglichkeiten einigermaßen quantitativ erkennbar wird; neu ist dabei insbesondere seine Auffassung und Anwendung von Mathematik. Alexander KOYRÉ hat GALILEIS Experimente als Akte der Bestätigung vorgefasster mathematisch erfasster Vorstellungen interpretiert, nicht aber der systematischen Suche nach neuen Erkenntnissen; er steht damit in scharfem Gegensatz zu Stillman DRAKE. Zweifellos haben aber die traditionellen Vorstellungen, wie sie aus der spätscholastischen Naturphilosophie über die italienischen Autoren des 15. und 16. Jhs überliefert wurden, GALILEI immer noch maßgeblich beeinflusst. William R. SHEA kommt denn auch zu dem Schluss, „*dass die Wahrheit irgendwo zwischen den von Mach und Duhem vertretenen Extremen liegt*“[169].

In Pisa befasste sich GALILEI eingehend mit dem Pendel – zeitlebens war er im Weiteren bemüht, eine Pendeluhr zu bauen, nachdem er entdeckt hatte, dass dessen Periode allein von der Länge abhängt; die Konstruktion hat GALILEI 1640 ersonnen, gebaut hat ein erstes Modell sein Sohn Vincenzo, tatsächlich gelöst hat das Problem der Ganggenauigkeit allerdings erst HUYGHENS 1657 mit der Erfindung der Hemmung und (ausgelöst durch die Pendelproblematik) mit dem freien Fall, d.h. der gleichförmig beschleunigten Bewegung. GALILEI experimentierte diesbezüglich mit der Schiefen Ebene; er fertigte Rinnen aus feinem Pergament an, in denen er Kugeln rollen ließ (die Tradierung von den Versuchen am Schiefen Turm von Pisa hat sein Schüler und erster Biograph Vincenzo VIVIANI in die Welt gesetzt – im Gedankenexperiment hat GALILEI den Turm in seinem „Dialogo“ allerdings nachlesbar sehr wohl eingesetzt). GALILEI hat sich 40 Jahre lang mit dieser Frage befasst und ist erst spät zur Auffassung gelangt, dass alle Körper im Vakuum gleich schnell fallen müssten – experimentell belegbar war ihm das nicht (und es ist auch heute nur sehr schwer zu belegen). Im Zusammenhang damit hat GALILEI in späteren Jahren die Auffassung vertreten, dass ein gleichförmig bewegter Beobachter dieselben physikalischen Wahrnehmungen hat wie ein sich nicht bewegender, d.h. dass Bewegung relativ sei. GALILEIs diesbezügliche Arbeiten waren keineswegs Ausnahmeerscheinungen; es gab eine Fülle von Personen (vor allem Italienern), die sich in Fortsetzung der Bemühungen schon im 14. Jh mit dem Problem der Bewegung befassten[170], allerdings eben nicht zu jene teilweise experimentell gesicherten Ergebnissen gelangte wie GALILEI.

---

168 Dialogo di Galileo Galilei sopra i due Massimis Sistemi der Mondo Tolemaico e Copernicano, deutsche Ausgabe (Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische) in Auszügen in Galileo Galilei. Schriften – Briefe – Dokumente, hg von Anna Mudry, Wiesbaden 2005, 212.

169 Shea in Ueberweg 809.

170 Mit dem Thema befassten sich unter anderem Alessandro Piccolomini, Niccolò Tartaglia, Giovan Battista Benedetti, Francesco Maurolico, Bernardino Baldi, Guidubaldo del Monte, Michael Varro (*De motu*, Genf 1584) und Francesco Buonamicida (*De motu*, Florenz 1591).

1592 wurde GALILEI als Mathematiker nach Padua in der venezianischen *terra ferma* berufen; die Universität war unter der Herrschaft der reichen und liberalen Signorie von Venedig so gut wie völlig frei von äußeren Einflüssen. GALILEI las zu EUKLID, SACROBOSCO (immer noch!), PTOLEMAIOS und pseudoaristotelischer Mechanik, privatim unterrichte er auch Fortifikationswesen, Militärtechnik, Mechanik und vielleicht auch Astronomie, wenn auch ein Interesse für diesen Bereich vor 1604 kaum nachweisbar ist. Dort entwickelt er (offenbar 1597) den Proportionszirkel (aus dem bereits bekannten Reduktionszirkel heraus), der sich zu einem Universalinstrument entwickelte[171] und als „Compasso" so gut verkaufte, dass GALILEI für die Herstellung einen eigenen Mechaniker beschäftigte; es handelt sich dabei um ein Gerät, das als Vorläufer des Rechenschiebers bezeichnet werden kann und das auch militärisch für Berechnungen bei der Artillerie eingesetzt wurde, wofür Galilei eine eigene Gebrauchsanweisung verfasste. GALILEI hat auch andere praktische Erfindungen getätigt[172]. Für seine Studierenden verfasste er verschiedene Schriften, darunter eine Mechanik, die in zahlreichen Abschriften kursierte und sogar in das Englische und in das Französische übersetzt worden ist.

1597 hat Galilei einem Kollegen gegenüber das kopernikanische System verteidigt und Keplers „Mysterium Cosmographicum" erhalten und darauf sehr positiv geantwortet, wenn er sich auch von KEPLER nicht bedingungslos auf das kopernikanische System einschwören ließ, zumal er offenbar noch wenige astronomische Argumente dafür akzeptierte – dies scheint mit der irrigen Gezeitentheorie zusammenzuhängen, der GALILEI damals schon anhing.

1602 hat GALILEI wieder begonnen, sich intensiver mit der Pendelbewegung und dem freien Fall zu befassen. In einem Brief an den venezianischen Historiker Paolo SARPI[173] aus dem Jahr 1604 formulierte GALILEI das korrekte Gesetz des freien Falls, allerdings auf Grund falscher Annahmen. Es gibt – nach KOYRÉ – keinen Anhaltspunkt dafür, wie GALILEI zu dieser Erkenntnis gelangte. Algebraisch wäre das Gesetz aus der Merton-Regel von der mittleren Geschwindigkeit ableitbar, doch dem widersprechen GALILEIs irrige Annahmen.

Die Supernova von 1604 löste eine heftige Diskussion hinsichtlich der aristotelischen Idee der Perfektion und Unveränderlichkeit der supralunaren Welt aus, an der sich GALILEI – unter anderem durch drei überlaufene öffentliche Vorlesungen – lebhaft beteiligte.

1609 baut GALILEI – nachdem er den deutschen Besitzer eines Fernrohrs in Padua verfehlt hatte – auf die Information hin, dass der holländische Linsenschleifer LIPPERSHEY ein derartiges Gerät entwickelt und vorgeführt habe, mit Hilfe von gekauften Linsen ein Fernrohr, mit dem er 7-9fache Vergrößerung erzielte (dreimal mehr als das Instrument des Deutschen; bereits zu Ende 1609 erzielte GALILEI 30fache Vergrößerung, was praktisch bereits die maximale Vergrößerungsmöglichkeit dieses Typs war); dieses Fernrohr ist dann sehr bald durch KEPLER verbessert worden. GALILEI hat dieses Fernrohr, dessen Nützlichkeit evident war, der Signora von Venedig vorgeführt, die daraufhin sein Gehalt verdoppelte (wenn nicht verdreifachte), zumal ihr GALILEI alle Rechte darauf überließ, was natürlich illusorisch war (GALILEIs Gehalt ist im Folgejahr wieder gekürzt worden). GALILEI unternimmt um die Jahreswende 1609/10 als Erster systematische astronomische Beobachtungen mit Hilfe eines vermutlich von ihm verbesserten [wissg-07B-826::Fernrohrs]: er erforscht erstmals den **Mond** näher und entdeckt dabei [wissg-07B-830::Berge], was der klassischen Theorie von perfekt kugelgestaltigen Himmelskörpern zuwiderlief, stellt eindeutig fest, dass der Mond auch von der Erde beleuchtet wird, dass die Venus [wissg-07B-832::Phasen] zeigt, dass die Planeten im Gegensatz zu den Fixsternen als Scheiben erkennbar sind; am bedeutendsten war aber wohl die Entdeckung der **Jupitermonde** (GALILEI stellt den 3. Mond am 7. Jänner, den 4. Mond am 13. Jänner 1610 fest), die er als „Mediceische Sterne" bezeichnete, was sich eben so wenig durchsetzte wie die Bezeichnung als „Sidera Brandenburgica" – 1613 hat der Astronom Simon MARIUS, der praktisch gleichzeitig mit und unabhängig von GALILEI die vier großen Jupitermonde entdeckt hatte, im Gespräch mit KEPLER "*mit Erlaubnis der Theologen*" die Namen Io, Europa, Ganymed

---

171 Daran hatten schon COMMANDINO und DEL MONTE gearbeitet, ebenso befasste sich Jost BÜRGI sehr erfolgreich damit. – S. dazu:[http://www.haff.de/reduktionszirkel.htm],[http://::did.mathematik.uni-halle.de/lehrerseite/zeichengeraete/geheimnisse.pdf]

172 Er hat z.B. demonstriert, wie man mit Hilfe von Spiegeln mit nur einer Kerze ein Haus beleuchten kann, hat eine Kombination von Taschenkamm und Besteck, einen Vorläufer des Kugelschreibers u.a.m. entwickelt.

173 (1552-1623), Mitglied des Servitenordens, als Kritiker des Papstes und der Jesuiten geriet er in die Nähe des Protestantismus. Sein Hauptwerk ist eine Geschichte des Konzils von Trient.

und Callisto vorgeschlagen. GALILEI hat seine Entdeckungen in seiner Publikation „**Nuntius Siderus**“ bekannt gemacht, den KEPLER am 8. April 1610 in Prag erhalten hat und auf den er mit seiner "**Dissertatio cum nuntio sidereo**" 1610 begeistert geantwortet hat. Im August 1610 hat dann GALILEI an KEPLER ein Buchstabenrätsel mit 37 Buchstaben abgesandt[174], das eine große Entdeckung enthalte und das er dann im November aufgelöst hat, indem er KEPLER mitteilte, dass auch der **Saturn** Begleiter habe. GALILEI erkennt auch, dass die Milchstraße kein Nebel ist, sondern aus unzähligen Sternen besteht. GALILEI hat seine Aufsehen erregenden Entdeckungen sofort beschrieben im

– **Sidereus Nuncius**, welches Werk bereits im März 1610 [wissg-07B-836::erschien] und innerhalb weniger Tage vergriffen war und bald in Frankfurt neu aufgelegt wurde.

Für die Jupiterbeobachtung konstruierte sich Galilei sehr bald eine ausgeklügelte [wissg-07B-842::Beobachtungsapparatur], mit deren Hilfe er mit einem Auge durch das Fernrohr und mit dem zweiten Auge durch ein Gitter blickte, welche beiden Bilder sich überlagerten und ihm die relativ exakte Messung der Bewegung der Jupitermonde ermöglichte, wodurch er sehr rasch das Jupitersystem als ein Abbild des Sonnensystems erkannte und mit Hilfe seines [wissg-07B-838::Jovilabiums] nachbildete. Ein GALILEI verborgen bleibender Nebeneffekt dieses Studiums des Jupitersystem war die erste nachweisbare Beobachtung des Neptun, der damals in unmittelbarer „Nachbarschaft“ Jupiters stand und in GALILEIs [wissg-07B-839::Notizen] Eingang fand, ohne aber näher interpretiert zu werden.

GALILEI diskutierte in der Folge mit dem Jesuiten Christoph CLAVIUS über die Phasen der Venus, die beweisen, dass die Venus ihre Position gegenüber Erde und Sonne verändert. Mit Christoph SCHEINER diskutiert er bezüglich der Sonnenflecken, die der Jesuit als Satelliten erklären will, um die Reinheit der Sonne als perfektem Himmelskörper zu retten. Gleichwohl anerkennen die Jesuiten 1611 in Rom GALILEIs Entdeckungen. Seine Beobachtungen legen GALILEI nahe, die Gültigkeit des kopernikanischen Systems anzunehmen, obgleich er es nicht wirklich beweisen kann und vorerst auch gar nicht will. Die „Dreigestaltigkeit“ des Saturns hat erst HUYGHENS erklärt, der die Saturnringe als solche verifizieren konnte, was GALILEIs Fernrohre noch nicht zu leisten vermochten. GALILEI hat auch eine Methode zur Bestimmung der Parallaxe von Fixsternen (zur Bestimmung ihrer Entfernung) vorgeschlagen, die aber erst 1837 von FRIEDRICH BESSEL umgesetzt werden konnte[175].

1612 wird GALILEI von seinem Schüler COSIMO II DE'MEDICI zum Hofmathematiker und Professor der Mathematik in Pisa ohne Lehrverpflichtung ernannt und kann sich damit voll und ganz der wissenschaftlichen Arbeit widmen.

1613 publiziert GALILEI zu den Sonnenflecken und spricht sich erstmals in einer öffentlichen Publikation zugunsten des kopernikanischen Systems aus, was in weiterer Folge zur Anzeige bei der Inquisition im Jahre 1614 führte. GALILEI befasste sich damals insbesondere mit Hydrodynamik und Lichtbrechung. Die Auseinandersetzung mit der Kirche verdichtete sich aber, und 1615 legte der venezianische Geistliche Paolo Antonio FOSCARINI ein Werk vor, in dem er beweisen wollte, dass das kopernikanische Weltbild der Bibel nicht widerspräche. Dies hatte die Einleitung einer Untersuchung durch die Inquisition unter Kardinal Robert BELLARMIN zur Folge und FOSCARINIS Buch wurde auf den Index gesetzt wie dann auch KEPLERS „Epitome Astronomiae Copernicanae“. Nicht verboten wurde das Hauptwerk des KOPERNIKUS, dieses durfte allerdings (bis 1822) im Einflussbereich der Inquision nur in Bearbeitungen erscheinen, in denen betont wurde, dass das heliozentrische Modell nur ein mathematisches Modell sei. GALILEI wurde ermahnt, künftig das kopernikanische System nicht zu verteidigen, sondern allenfalls nur als Hypothese zu diskutieren (im Prozess von 1632/33 wurde diese Ermahnung als Begründung für den Vorwurf des Ungehorsams angeführt).

Nach seiner Rückkehr nach Florenz zog sich GALILEI auf ein weniger kritisches Problem zurück und bemühte sich, die Jupitermonde als Zeitmesser für die Längengradbestimmung zu nutzen, was aber nicht gelang (es ist dies auch von Olaf ROEMER versucht worden, der in diesem Zusammenhang erstmals einen brauchbaren Wert für die Lichtgeschwindigkeit ermittelte). In dieser Zeit baute GALILEI auch das

---

174 Dafür waren 7202 Quintillionen Permutationen möglich!

175 Die Parallalaxe ist der Winkel, den zwei von unterschiedlichen Standpunkten auf ein- und dasselbe Objekt gerichtete Sehstrahlen bilden – bei Messungen z.B. in Bezug auf Fixsterne wird der Erdbahndurchmesser als Grundlinie angenommen. Da der sich ergebende Winkel auch bei nahen Fixsternen sehr klein ist (unter einer Bogensekunde!) ist er nur sehr schwer zu ermitteln. Eine Parallaxe von 1 Bogensekunde entspricht einer Entfernung von etwa 31 Billionen Kilometern = 1 parsec (= 3,26 Lichtjahre, 1 Lichtjahr = 9,5 Billionen km).

Fernrohr zum Mikroskop um, doch interessierte ihn das weit weniger. Auch nahm er damals die durch die Ereignisse um das Fernrohr unterbrochenen Untersuchungen wieder auf, in welchem Zusammenhang seine Arbeit

– **De motu accelerato** erschien.

Allerdings wurde Galilei durch drei Kometen und die dadurch ausgelösten Diskussionen und durch eine Kontroverse neuerlich aus der Arbeit gerissen, die die Abfassung einer Schrift zur Folge hatte, die Galilei 1623 seinem eben zum Papst (Urban VIII.) gewählten Förderer Kardinal Maffeo BARBERINI [wissg-07B-837::widmete]:

– **Il Saggiatore**, Der (Münz-)Prüfer, eine gegen einen Jesuiten gerichtete Polemik über Kometen, Atomismus und andere Fragen, in der GALILEI formulierte, dass die Naturphilosophie im Buch der Natur zu lesen stehe, das in mathematischer Sprache geschrieben sei und das man ohne eingehende Kenntnis der Geometrie nicht verstehen könne. Das Werk enthält eine klare Absage an Astrologie und Alchemie, erklärt aber (im Unterschied zu KEPLER) die Kometen als sublunare Phänomene (weil sie sich offensichtlich nicht auf Kreisbahnen bewegten). Der Frage der Erdbewegung ging er aus dem Weg. GALILEI wurde des Atomismus wegen angezeigt[176], doch wurde diese Anzeige nicht weiter verfolgt.

Der Papst ermunterte – in Kenntnis und unter Nichtaufhebung der Ermahnung von 1615/16 – GALILEI weiterhin über das kopernikanische System als Hypothese neben der ptolemäischen Position zu publizieren – die Situation war ja im Wesentlichen dadurch bestimmt, dass die führenden Geistlichen im Vatikan sehr wohl erkannt hatten, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse (die aber nicht unwesentlich im reformierten Bereich erarbeitet worden waren) einsichtigerweise der Bibel widersprachen und dass man von der wortwörtlichen Interpretation der Bibel würde abgehen müssen; doch wollte man dies (in der Zeit der erfolgreichen Gegenreformation und dann der einsetzenden Aufklärung) nicht so ostentativ vollziehen, wie Männer wie KEPLER und GALILEI es betrieben; schon BELLARMIN hat sich schriftlich in diesem Sinne geäußert, dass man nämlich das heliozentrische System anerkennen werde müssen, wenn es einen schlagenden Beweis gebe. Im Grunde genommen sind ja auch GALILEI hinreichend Hinweise gegeben worden, wie er ungeschoren bleiben würde – wenn er nur das heliozentrische System verbal als „lediglich eine Hypothese“ bezeichne; man wollte kirchlicherseits wenigsten noch den Schein wahren. Auf den Zuspruch des Papstes hin, aber unter Vernachlässigung des warnenden Zusatzes vollendete GALILEI 1630 – nach sechsjähriger, mehrfach durch Krankheit unterbrochener Arbeit sein [wissg-07B-840::Werk]

– **Dialogo di Galileo Galilei sopra i due Massimis Sistemi der Mondo Tolemaico e Copernicano**, 1632, in dem er das Relativitätsprinzip formuliert, das von den Jesuiten favorisierte tychonische System verschweigt und das kopernikanische System verteidigt – als Beweis dient ihm seine (irrige) Theorie der Gezeiten (GALILEI erklärte die Gezeiten aus dem Zusammenwirken der Bewegung der Erde um die Sonne und der Eigenrotation der Erde, die einmal pro Tag ein „Abbremsen“ und einmal ein „Beschleunigen“ auf der Erdoberfläche bewirke, was eben die Bewegung des Wassers auslöse; die Unterschiede in den Gezeiten suchte er mit der wechselnden Geschwindigkeit auf ihrer Umlaufbahn zu erklären). Das Werk ist in die Gestalt eines Gesprächs zwischen drei Personen (einem Vertreter des ptolemäischen Systems, einem des kopernikanischen Systems und einem unbedarften Toren namens Simplicio) gekleidet, das sich über vier Tage erstreckt.
  * Der erste Tag ist neben einer kritischen Diskussion der aristotelischen Vorgaben und anderen Fragen wesentlich dem Problem des freien Falles und des Pendels gewidmet.
  * Der zweite Tag dient der präzisen Erörterung von Bewegungsvorgängen einschließlich der Diskussion der Hebelgesetze samt Fragen der Bruchfestigkeit von Materialien in diesem Zusammenhang;
  * Der dritte Tag gilt der gleichförmigen und der beschleunigten Bewegung,
  * Der vierte Tag schließlich der Wurfbewegung.

GALILEI erlangte von der Inquisitionsbehörde eine vorläufige Druckerlaubnis, das Werk erschien jedoch erst 1632 in Florenz. Die Zensur hatte GALILEI auferlegt, das Werk mit einer Schlussrede zugunsten des

[176] Die atomistische Lehre wurde auf Grund von Schwierigkeiten hinsichtlich der Lehre von der Transsubstantation als Widerspruch zur Abendmahlslehre und damit als Häresie interpretiert. Dem gegenüber mochte der Heliozentrismus geradezu als ein geringeres Übel betrachtet worden sein.

ptolemäischen System zu beschließen – GALILEI legte diese Worte aber der Gestalt des Dummkopfs Simplicio in den Mund. Damit und wohl auch durch den Umstand, dass er seine das kopernikanische System verteidigende Arbeit führenden Persönlichkeiten in der Inquisition zusandte, was wohl auch als Herausforderung aufgenommen worden ist, verspielte er die Protektion des ihm zuvor sehr gewogenen Papstes, der sich betrogen fühlte, da ihn Galilei nicht von der 1616 erteilten Ermahnung informiert hatte, als es um die Druckerlaubnis eingekommen war. Der „Dialogo", der sofort reißenden Absatz gefunden hatte, wurde verboten und GALILEI im Herbst 1632 nach Rom zitiert; die Verzögerung wegen seiner ernsthaften Erkrankung wurden kirchlicherseits schließlich nicht mehr akzeptiert und eine zwangsweise Vorführung angekündigt, falls er nicht sofort käme; daraufhin ließ ihn der Großherzog im Februar 1633 in einer Sänfte nach Rom transportieren. Im April 1633 wurde er offziell vernommen, 22 Tage bei der Inquisition einquartiert und mehrmals [wissg-07B-866::verhört]. Im Prozess wurde ihm Ungehorsam (gegenüber der 1615/16 ergangenen Ermahnung) vorgehalten; GALILEI [wissg-07B-833::beeidete] schließlich „*...stets geglaubt zu haben, gegenwärtig zu glauben und in Zukunft mit Gottes Hilfe glauben zu wollen alles das, was die katholische und apostolische Kirche für wahr hält, predigt und lehret*", schwor also ab mit den [wissg-07B-834::Worten] "*Ich, Galileo Galilei, habe abgeschworen, geschworen, versprochen und mich verpflichtet, wie ich eben näher ausgeführt habe. Zum Zeugnis der Wahrheit habe ich diese Urkunde meines Abschwörens mit eigener Hand unterzeichnet und sie Wort für Wort vorgelesen, in Rom im Kloster der Minerva am 22. Juni 1633. Ich, Galileo Galilei, habe abgeschworen und mit eigener Hand unterzeichnet*"[177] und wurde zu lebenslanger Kerkerhaft verurteilt, die allerdings sehr rasch in Hausarrest, erst in Siena, dann in seinem eigenen Haus in Arcetri oberhalb von Florenz umgewandelt wurde (die Worte „*Eppur si muove*" sind eine bereits zeitgenössische Erfindung, möglicherweise hat GALILEI sie gesprochen, als er im April 1614 von Siena – wo er der Kurie unliebsam zuvorkommend behandelt worden war – nach Florenz zurückgebracht wurde). Innerlich hielt GALILEI am heliozentrischen System fest. Es haben sich auch gegen 1650 hin die Hinweise gemehrt, die für das heliozentrische System sprachen, sodass um 1700 die jesuitischen Astronomen sich in vieler Hinsicht nicht mehr von den weltlichen unterschieden, auch wenn sie – eher des Dogmas willen – an der Geozentrik festhielten[178].

GALILEI hat weiterhin unter Hausarrest gelebt; sein Haus durfte er allerdings auch zum Zwecke ärztlicher Behandlung nicht mehr verlassen – eine Ausnahme gab es nur für Besuche bei seine Tochter in einem nahen Kloster. Jegliche Veröffentlichung war ihm verboten. Nach einiger Zeit der Rekonvaleszenz und der psychischen Wiederherstellung nahm er die wissenschaftliche Arbeit wieder auf, führte auch eine ausgedehnte Korrespondenz und konnte auch Besucher empfangen – unter ihnen u.a. Thomas HOBBES und John MILTON.

1635 erschienen in Straßburg und dann 1638 lateinisch in Leiden als das letzte Werk GALILEIS

– **Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a duoe nove scienze,** Unterredung und mathematische Demonstration über zwei neue Wissenszweige die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, ursprünglich in italienischer Sprache wie die meisten Arbeiten GALILEIS. Dieses Werk ist gewissermaßen ein Lehrbuch der neuen Mechanik. Es ist in die Gestalt von vier Dialogen (die sich auf vier Tage verteilen) gekleidet und eine Fortsetzung des „Dialogo". GALILEI befasst sich einleitend in zwei Dialogen (die die ersten beiden Tage darstellen) mit grundsätzlichen Fragen wie der Natur der Materie, der Mathematik und dem Wesen von Wissenschaft, dem Gewicht der Luft, dem Schall, der Geschwindigkeit des Lichts und anderen allgemein physikalischen Fragen. Hinsichtlich der Materie vertritt GALILEI die atomistische Auffassung, dass sie aus endlichen unsichtbaren Teilchen bestehe (*parti quante*); gleichzeitig fand er aber, dass für eine mathematische Analyse der Materie unendlich kleine Teilchen (*parti non quante*) angenommen werden müssten; den Widerspruch vermochte er nicht zu lösen, doch wurden seine (z.T. verlorenen) Überlegungen zum Ausgangspunkt für Bonaventura CAVALIERI. GALILEI befasst sich – angeregt durch Probleme mit Saugpumpen – auch mit der Frage der Kohäsion der Materie und damit (allerdings wenig erfolgreich) auch des Vakuums. Einen erheblichen Teil der Arbeit nimmt die Behandlung des Pendels ein, wobei er die empirischen Beobachtungen deduktiv abzuleiten suchte. Das zweite große Thema sind die

177 Nach Bautz http://www.bautz.de/bbkl/g/galilei_g.shtml

178 S. dazu Ugo Baldini in Ueberweg 742ff.

Untersuchungen mit Hilfe der Schiefen Ebene, die er genau beschreibt (sie sind in den vergangenen Jahrzehnten minutiös wiederholt worden). Der dritte größere Komplex gilt dem Wurf mit der Ableitung der parabolischen Flugbahn – die ballistische Kurve wird erklärt als Zusammenwirken der horizontalen Bewegung und der stetig beschleunigten Fallbewegung, was eben in eine Parabel resultiert. Ein fünfter und sechster Dialog sind unvollendet geblieben und erst später aus dem Nachlass zugänglich geworden. Die Discorsi sind praktisch ein Lehrbuch der neuen Mechanik und stehen am Anfang einer neuen Entwicklung. Die Lehrsätze des Textes sind in lateinischer Sprache verfasst, alles andere in italienischer Sprache.

1638 erblindete GALILEI (möglicherweise infolge seiner Beobachtungen von Sonnenflecken). Seine letzte Entdeckung war die der Libration des Mondes.
1641 löste Evangelista TORICELLI GALILEIs langjährigen Assistenten und Sekretär ab. Am 8. Jänner 1642 ist GALILEI verstorben.

1741 ist kirchlicherseits eine Gesamtausgabe der Werke GALILEIs freigegeben worden, 1822 das Imprimatur für den Dialogo erteilt und 1992 GALILEI formal rehabilitiert worden. Der Prozess GALILEIs war über die Jahrhunderte ein Thema in der Diskussion um Wissenschaftsfreiheit, im 20. Jh hat Bert BRECHTs 1938 entstandenes Drama „Das Leben des Galilei“ das Bild maßgeblich bestimmt.

GALILEI hat KEPLERs Leistungen unerwähnt gelassen, nur an wenigen Stellen wird indirekt auf sie Bezug genommen. KEPLER seinerseits hat GALILEI emphatisch gewürdigt.

* * *

Das Dreigestirn Tycho BRAHE, KEPLER und GALILEI markiert den Übergang in die Phase einer stürmischen Entwicklung in der Mathematik und in den Naturwissenschaften, die gemeinhin als *scientific revolution* bezeichnet wird. Es ist in diesem Zusammenhang höchst bemerkenswert, dass die Auffindung der Planetengesetze durch Kepler noch den Abschluß der beobachtenden Astronomie ohne Fernrohr darstellt, während die Begründung dieser Entdeckung bereits in eine neue Phase fällt.