

Reader zur Allgemeinen Wissenschaftsgeschichte

Teil 5: Naturwissenschaften I – von Walter Höflechner - Zentrum für
Wissenschaftsgeschichte - Graz, März 2008

| | |
|---|----|
| 1 Prähistorie, vor- und außerklassisches Altertum - Mesopotamien, Ägypten, China, Indien..... | 8 |
| 1.1 Prähistorisches..... | 8 |
| 1.2 Mesopotamien..... | 8 |
| 1.2.1 Mathematik..... | 9 |
| 1.2.2 Astronomie..... | 11 |
| 1.2.3 Medizin..... | 14 |
| 1.3 Ägypten..... | 14 |
| 1.3.1 Mathematik | 15 |
| 1.3.2 Astronomie | 17 |
| 1.3.3 Medizin..... | 18 |
| 1.4 Indien..... | 18 |
| 1.5 China..... | 20 |
| 2 Klassisches Altertum..... | 20 |
| 2.1 Grundlegende Vorstellungen..... | 21 |
| 2.1.1 Natur der Materie..... | 21 |
| 2.2 Mathematik..... | 22 |
| 2.2.1 Die führenden griechischen Mathematiker..... | 29 |
| Hippokrates von Chios (fl. 440) | 29 |
| Hippias von Elis (fl. 400) | 29 |
| Archytas von Tarent (428–347) | 29 |
| Eudoxos von Knidos (408-355) | 30 |
| Menaichmos (375-325) | 30 |
| Euklid (325 – 265) | 30 |
| Archimedes von Syrakus als Mathematiker (287-212) | 34 |
| Eratosthenes von Kyrene (276/75 – ?) | 37 |
| Apollonios von Perge (auch: von Alexandria) (260-200/190) | 37 |
| Hipparchos von Nikaia (190-120), s. auch Astronomie!! | 38 |
| Heron von Alexandria (vermutlich 1. Jh nChr) | 38 |
| Diophant aus Alexandria (vermutlich um 250 nChr) | 38 |
| Pappos von Alexandria (um 300 nChr) | 40 |
| Theon von Alexandria (2. H. 4. Jh) | 40 |
| Hypathia (gest. 415) | 40 |
| Proklos Diadochos (410-485) | 40 |
| 2.2.2 Mathematik in Rom..... | 41 |
| 2.2.3 Der Übergang zum Mittelalter | 42 |

| | |
|---|----|
| Anicius Manlius Severinus Boethius (ca. 480-524) | 42 |
| Pythagoras von Samos (6. Jh) | 24 |
| Thales von Milet (624-546) | 26 |
| Platon (427-347) | 28 |
| 2.3 Astronomie..... | 42 |
| 2.3.1 Die wichtigsten griechisch-hellenistischen Astronomen..... | 46 |
| Hiketas von Syrakus um 400 – um 335 vChr) | 46 |
| Eudoxos von Knidos (um 400-355) | 47 |
| Herakleides Pontikos (388-315) | 48 |
| Aristoteles (384-323) | 49 |
| Aristarch von Samos (fl. 280) | 50 |
| Seleukos von Seleukia, auch „von Babylon“ (um 190 vChr) | 51 |
| Archimedes von Syrakus 287-212 | 51 |
| Eratosthenes von Kyrene (273-192), | 52 |
| Apollonios von Perge (260-200/190) | 52 |
| Hipparchos von Nikaea (190-120) | 52 |
| Klaudios Ptolemaios (120 – nach 160) | 53 |
| 2.3.2 Zur Vorstellung von den Sphären – Epizykel, Exzenter und Koordinatensystem..... | 58 |
| 2.3.3 Astronomische Geräte..... | 60 |
| 2.4 Geographie in der Antike..... | 61 |
| 2.4.1 Allgemeines..... | 61 |
| Eratosthenes von Kyrene (273-192 vChr) | 63 |
| Krates von Mallos (2. Jh vChr) | 64 |
| Strabon (63 vChr – um 20 nChr) | 64 |
| Marinos von Tyros (fl. 114 nChr) | 65 |
| Klaudios Ptolemaios (120-nach 160) als Geograph | 65 |
| 2.4.2 Geographie in Rom..... | 67 |
| 2.4.3 Übergang in das Mittelalter - Frühmittelalter..... | 67 |
| Kosmas Indikopleustes (1. Hälfte des 6. Jhs) | 68 |
| 2.5 „Physik“..... | 68 |
| Mechanik | 69 |
| Archimedes von Syrakus als „Physiker“ (287-212) | 69 |
| Bewegungslehre | 70 |
| Optik | 73 |
| Meteorologie | 74 |

| | |
|---|----|
| Akustik | 75 |
| Hippasos von Metapont (ca. 520-480, besser wohl um 450) | 75 |
| Elektrizität | 75 |
| 2.6 „Chemie“ in der Antike..... | 75 |
| 2.7 Mineralogie..... | 76 |
| 2.8 Biologie..... | 77 |
| 2.8.1 Voraristotelische Vorstellungen..... | 77 |
| 2.8.2 Die Zoologie des Aristoteles | 78 |
| 2.8.3 Botanik..... | 80 |
| Theophrastos (371-285) | 81 |
| Dioscurides (1 Jh nChr) | 83 |
| 2.8.4 Medizin in der Antike nach Hippokrates..... | 83 |
| Hippokrates von Kos (460-380) | 84 |
| Erasistratos, ca. 305 – ca. 250 | 85 |
| Herophilos von Chalkedon (ca. 325 – ca. 255) | 86 |
| Klaudios Galenos aus Pergamon (129-199) | 86 |
| Medizin in Rom | 88 |
| 2.9 Angewandte Wissenschaften..... | 88 |
| 2.9.1 „Ingenieurwesen“ | 88 |
| Archimedes von Syrakus als Ingenieur 287-212 | 90 |
| Ktesibios von Alexandria (um 140 vChr) | 91 |
| Philon von Byzanz (Mitte 3. Jh vChr) | 91 |
| Heron von Alexandria (1. Jh nChr) | 91 |
| 2.9.2 Architektur..... | 93 |
| Marcus V. Pollio Vitruvius (Ende 1. Jh vChr) | 93 |
| Sextus Julius Frontinus (1. Jh nChr) | 94 |
| 2.10 Zusammenfassung..... | 94 |
| 3 Abendländische Spätantike und Frühmittelalter..... | 94 |
| 3.1 Mathematik, Astronomie, Physik..... | 95 |
| Anicius Manlius Severinus Boethius (ca. 480-524) | 95 |
| Johannes Philoponos (490-570) | 96 |
| Leon der Mathematiker (790-nach 869) | 97 |
| Dionysius Exiguus (†540), | 97 |
| Beda Venerabilis (674-735) | 98 |
| Karolingische und ottonische Renaissance | 99 |

| | |
|---|-----|
| Alkuin (735-804) | 99 |
| Gerbert von Aurillac (940/50-1003) | 100 |
| Franco von Lüttich (+ 1083) | 101 |
| 4 Außereuropäisches..... | 102 |
| 4.1 China..... | 102 |
| Mathematik | 102 |
| Tsu Chung-Chih (430-501) | 102 |
| Chin Chiu-Shao (um 1250) | 103 |
| Yang Hui (um 1270) | 104 |
| Chin Zhiu Shao, Li Ye, Yang Hui und Zhu Shijie, | 104 |
| Li Yeh (1178-1265) | 104 |
| Kuo Shou-Ching (1231-1316) | 105 |
| Astronomie | 105 |
| Geographie | 106 |
| 4.2 Indien..... | 106 |
| Aryabhata (geb. 476 nChr) | 106 |
| Brahmagupta (598-670) | 107 |
| 4.3 Hinweis auf das präkolumbische Amerika..... | 109 |
| 5 Mathematische und naturwissenschaftliche Arbeit in der Welt des Islam..... | 109 |
| 5.1 Mathematik und Astronomie | 112 |
| 5.1.1 Zentren – Observatorien und Geräte..... | 116 |
| 5.1.2 Die bedeutendsten muslimischen Mathematiker und Astronomen..... | 120 |
| Abu Abdullah Muhammed ibn Musa al Khwarizmi (ca. 780 – ca. 850) | 121 |
| Abu Yusuf Yaqub ibn Ishaq ibn al-Sabbah al-Kindi (ca. 800-873) | 122 |
| Die „Banu Musa Brüder“, ca. 800 – ca. 860 | 123 |
| Habash al-Hasib (fl. 859) | 124 |
| Abu-l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Kathir al-Farghani (lat. Alfraganus (+ nach 861) | 124 |
| Thabit ibn-Qurra (836-901) | 125 |
| Abu Abdallah Mohammed ibn Jabir al-Battani (lat. Albategnius) (850-929) | 125 |
| Abd Al-Rahman Al-Sufi (fl. 965) | 127 |
| Abu-l-Wafa (940-1000) | 127 |
| Abu'l-Hasan Ali ibn Abd al Rahman Ibn Yunus, 950–1009 | 127 |
| Abu Bakr ibn Muhammad ibn al-Husayn al-Karaji (+ ca. 1029) | 128 |
| Abu Arrayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973–1048) | 128 |
| Abu Ali Al-Hasan ibn Al-Hasan Ibn Al-Haytham, lat. Alhazen (965-1040) | 130 |

| | |
|---|-----|
| Abu Ishaq Ibrahim ibn Yahya al-Zarqali (Arzachel, Sarkala, span. Azarquiel) (1028-1087) | 133 |
| Ghiyath al-Din Abu'l-Fath Umar ibn Ibrahim al-Nisaburi al-Khayyam (1048-1131) | 133 |
| Abu Gafar Muhammad ibn Muhammad ibn al-Hasan Nasir al-Din al-Tusi (1201-1274) | 135 |
| Naim al-Din Umar al-Qazvini (+ 1283) | 137 |
| Qutb al-Din Mahmud al-Shirazi (1236-1311) | 137 |
| Ibn al-Banna al-Marrakushi = Abu'l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Uthman al-Azdi (1256-1321) | 138 |
| Ibn asch-Schatir (fl. 1350) | 138 |
| Ghiyath al-Din Jamshid ibn Mas'ud al-Kashi, auch al-Kashani (+1429) | 139 |
| 5.1.3 Teilbereiche der Physik | 140 |
| 5.1.3.1 Mechanik | 140 |
| Abu'l Fath 'Abd al-Rahman Al-Khazini (fl. 1115–1130) | 140 |
| 5.1.3.2 Optik | 142 |
| Qusta ibn Luqa al-Balabakki (820-912) | 143 |
| Abu Yusuf Yaqub ibn Ishaq ibn al-Sabbah al-Kindi (ca. 800-873) | 143 |
| Abu Ali Al-Hasan ibn Al-Hasan Ibn Al-Haytham, lat. Alhazen (965-1040) | 143 |
| Kamal al-Din Abul Hassan Muhammad al-Farisi (1260–1320) | 146 |
| 5.1.3.3 „Technik“ | 147 |
| Badi al-Zaman Abul-Izz Ismail ibn al-Razzaz al-Jazari (1180-1210?) | 147 |
| 5.1.4 Musiktheorie..... | 147 |
| 5.1.5 Chemie – Alchemie..... | 148 |
| Abu Mansur Muwaffak ibn Ali al-Harawi (10. Jh) | 149 |
| Abu Musa Jabir Ibn Hayyan (ca. 721 – ca. 815) | 149 |
| Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya al Razi, lat. Rhazes (865– 925) | 153 |
| Abu-l-Qasim Muhammad ibn Ahmad al–Iraqi (13. Jh) | 153 |
| 5.1.6 Botanik..... | 154 |
| Abu Hanifa al-Dinawari (fl. 900) | 154 |
| Diya al-Din Abu Muhammad Abdallah ibn Ahmad Ibn al-Baytar al-Malaqi (1190-1248) | 154 |
| 5.1.7 Medizin..... | 154 |
| Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya al Razi, lat. Rhazes (865– 925) | 155 |
| Abul Qasim Khalaf ibn al-Abbas al-Zahrawi, lat. Abulcasis (936-1013) | 159 |
| Abu Ali al Husayn ibn Abdallah Ibn Sina, lat. Avicenna (980 – 1037) | 159 |
| Abu l Walid Muhammad ibn Ahmad ibn Muhammad Ibn Rushd, lat. Averroes (1126-1198) | 160 |
| Ala al-Din Abu l'Hasan Ali Ibn Abi l'Hazm al-Qurashi Ibn al-Nafis (ca. 1210 – 1288) | 161 |

| | |
|--|-----|
| Die Materia medica | 162 |
| Abu Jafar al-Ghafiqi (fl. 1165) | 163 |
| Abu Muhammad Abdallah ibn Ahmad Ibn al-Baytar al-Malaqi-Andalusi (1190-1248) | 163 |
| Abul Hasan al-Mukhtar ben abdum ben sadum al-Baghdadi, auch Ibn Butlan († 1068) | 163 |
| 5.1.8 „Geographie“ – Länderkunde..... | 164 |
| Ibn Khurdadhbih (fl. 850) | 165 |
| Abu-l-Qasim (825-912) | 166 |
| Abu l-Hasan Ali ibn al-Husayn ibn Ali al-Masudi, 895 Bagdad – 956/57 Kairo, | 166 |
| Ibrahim ibn Yaqub al-Israili al-Turtushi = Abraham Ben Jacob († Ende 10. Jh) | 166 |
| Abu Abdallah Muhammad ibn Muhammad ibn abd Allah al-Sherif al-Idrisi, lat. Dreses (1100-1166) | 167 |
| Shibab al-Din Abu Abdallah Yaqut ibn Abd Allah Yaqut al-Hamawi al-Rumi, 1179-1229 | 167 |
| Abu Abdallah Mohammed Ibn Battuta (1304 – 1368) | 168 |
| 5.1.9 Geologie..... | 169 |
| Abu Ali al/Hussein ibn Abdallah Ibn Sina | 169 |
| al Biruni +1048 | 169 |
| 5.1.10 Enzyklopädisten..... | 169 |
| Zakâriyya ibn Muhammad ibn Mahmud al-Qazwini, 1203-1283, | 170 |
| 5.1.11 Zusammenfassung..... | 170 |
| Von den indischen zu den arabischen Zahlen | 112 |

1 Prähistorie, vor- und außerklassisches Altertum - Mesopotamien, Ägypten, China, Indien

1.1 Prähistorisches

Im Zusammenhang mit der Analyse von Anlagen der Megalithkulturen Westeuropas sind verschiedenste interpretierende Annahmen vorgebracht worden, die ein bisher unerkanntes „rationales“ Naturverstehen und Handeln unterstellen wollen, darunter auch die Annahme, dass es in jener Zeit eine Maßeinheit gegeben habe, die man als „megalithischer Yard“ bezeichnete und die der mit Hilfe von Seilen durchgeführten Konstruktion der megalithischen Anlagen (Stonehenge etc.) zugrunde gelegt worden sei. Es sind derartige Vorstellungen jedoch mit größter Vorsicht aufzunehmen.

Zweifellos existierten auf astronomischen Beobachtungen gestützte mythische Vorstellungen kalenderhafter Natur, die Anlagen wie etwa jener in Stonehenge zugrunde lagen. In neuerer Zeit ist die Diskussion derartiger Fragen durch den Fund einer bronzzeitlichen Sonnenscheibe innerhalb eines Schatzfundes bei Nebra in Sachsen-Anhalt im Jahre 1999 bedeutend angeregt worden¹.

Von systematischer Erkenntnisarbeit kann in diesen Zusammenhängen noch nicht gesprochen werden; wohl aber zeugen diese Belege von den Anfängen einer Naturwahrnehmung auch unter empirischen Aspekten.

1.2 Mesopotamien

In Mesopotamien lassen sich die frühesten Beweise von entwickelter Schrift nachweisen; die sumerische Keilschrift gilt als die älteste Schrift der Welt. In ihr sind ab etwa 2900 vChr auch Zahlzeichen nachweisbar. Die Entwicklung von Städten, spätestens ab 2600 vChr, hat diese Entwicklung katalysiert; die Schrift erfährt die „typische“ Ausprägung als *Keilschrift*. Die Bereiche, in denen sich systematische Betätigung im Sinne einer Hinentwicklung zu "Wissenschaft" erkennen lassen, sind die Mathematik als ein Hilfsmittel der Astronomie und der wirtschaftlichen Praxis, die Astronomie als eine Grundlage wesentlich kosmologisch–astrologischer Vorstellungen wie für die Erarbeitung eines mit diesen in Zusammenhang stehenden brauchbaren Kalenders und die Jurisprudenz als Instrument der Organisation umfassenderer gesellschaftlicher Systeme.

Früh wurden Materien systematisch in Listen erfasst (z.B. alle Gegenstände aus Holz, alle Ackerbaugeräte, alle Fische, Insekten u.ä.), die bald auch zweisprachig (meist Sumerisch und Akkadisch) erstellt und später auch in einer dritten Kolumne ergänzt wurden, wenn der Wortsinn

¹ Es handelt sich um eine auf etwa 1600 vChr zu datierende Bronzescheibe, die heute als die weltweit älteste bekannte konkrete Himmelsdarstellung gilt; s. *wikipedia*.

nicht mehr hinreichend verständlich war und durch „modernere“ Formulierungen erläutert werden musste. So ergaben sich umfangreiche „Lexika“ oder Wörterbücher, die guten Einblick in die Materie ermöglichen, aber auch das Streben nach systematischer Erfassung des Wissens erkennen lassen. Bis in die Zeit um 1000 vChr bildeten sich kanonische Fassungen dieser Werke heraus, die hunderte Tontafeln umfassten und in zahlreichen Abschriften als Nachschlagewerke für Schreiber, aber auch als Unterrichtsbehelf und als Nachschlagewerk allgemeiner Natur weit verbreitet waren. Es ist dies ein „Zeichen einer ungewöhnlich frühen rationalen und intellektuellen Weltsicht“². Diese Listen wurden nach dem Incipit, nach dem Anfang des ersten Eintrags, benannt; besonders bekannt ist die Liste „*urra = hubullu*“ (verzinsliche Schuld). Auf Grundlage dieser ausgeprägten Lexikographie, die in weniger gut entwickelter Weise auch in Ägypten gepflegt wurde, ist der Kosmos der Menschen des mesopotamischen Raumes aus der Summe dieser Überlieferungen sehr gut erfassbar.

Wenn diese Listenwerke auch systematisch erfassen, so sind sie doch keineswegs Ausdruck einer gezielt „systematisch-wissenschaftlichen“ Behandlung der einzelnen Materien, etwa im Sinne einer Zoologie oder Botanik, d.h. einer Ausformung von Disziplinen mit theoretischem Hintergrund.

Neben mythologisch bestimmten *Darstellungen* wird in einzelnen Zeugnissen auch eine eher klare und rationale Wahrnehmung der Natur überliefert³; berühmt ist die kosmologische Darstellung eines namentlich nicht identifizierbaren Autors⁴, die im Norden das Gebirge und im weiteren das Land ausweist, in dem die Sonne nicht zu sehen ist.

1.2.1 Mathematik

Auch die ersten sicheren Beweise für die Entwicklung von Mathematik in unserem Sinne stammen aus Mesopotamien. Es sind nicht nur früh Zahlzeichen überliefert, sondern früh schon auch beeindruckende Beweise „mathematischer“ Tätigkeit, so dass zur Zeit Hammurapis in Mesopotamien mathematische Verfahren und Astronomie hoch entwickelt waren.

Es sind diese Gegebenheiten von den 1930er Jahren an durch Otto *Neugebauer* (1899-1990) im Wege der Bearbeitung enormen keilschriftlichen Materials erschlossen worden. Seine Arbeit ist fortgeführt worden durch seinen Schüler in München, Bartel *van der Waerden*. Einige von *Neugebauers* Interpretationen werden heute bei allem Respekt vor seiner Leistung nicht mehr geteilt, da sie naturgemäß durch neuere Forschungen z.T. überholt sind.

2 Nach Brigitte Groeneberg, Frauke Weiershäuser, Thomas Linnemann und Dagmar Ullrich, Digitale Keilschriftbibliothek Lexikalischer Listen aus Assur (*pdf*). Im weiteren s. aber Leo Oppenheim, Man and Nature in Mesopotamian Civilization, in: Bd 15 = Supplementband 1 des Dictionary of Scientific Biography, 1978, 634-666, 635f.

3 So in einem Brief des Assyrerkönigs Sargon II. (721-705) an die Stadt Assur, aber auch in anderen Zeugnissen.

4 Zur näheren Beschreibung s. Oppenheim 637f.

Eine gewisse Gefahr in der Interpretation früherer wissenschaftlicher Leistungen ist stets darin gegeben, dass aus der Kenntnis der Bearbeiter heraus im Wege von Rückprojektionen Überinterpretationen zustande kommen, indem moderne Terminologie wie Verfahren relativ unreflektiert eingesetzt werden.

Die Zahlzeichen wurden ursprünglich im Unterschied zur Schrift mit runden Griffeln eingedrückt; es dürfte auch einen größeren und einen kleineren Griffel für die Zahlen gegeben haben (Zahlzeichen aus der Zeit um 2900 überliefert). Als auch die Zahlzeichen Keilform annahmen, bedeutete ein senkrechter Keil 1 oder 60 oder eine Potenz von 60, oder aber auch $1/60$. Sehr bald gewannen die Größe und dann die Position des Keils an Bedeutung, es entwickelte sich das Stellenwertsystem, Trennzeichen wurden notwendig, um die Eindeutigkeit sicherzustellen, und es wird letztlich auch die *Null* eingeführt⁵, allerdings nur innerhalb einer Zahl und nicht an deren Ende.⁶

Die Sumerer verwendeten das Sexagesimalsystem mit 60 als Grundzahl, daher heute noch 360° Grad zu 60 Minuten und 60 Sekunden⁷. Es gab aber früh schon auch Elemente des Dezimalsystems, die jedoch in der „wissenschaftlichen“ Sphäre nicht verwendet wurden. Die Akkader gehen zum *Dezimalsystem* über. Das Dezimalsystem lässt sich von den Fingern ableiten, für das Sexagesimalsystem gibt es unterschiedliche Erklärungsversuche.

Zahlenbeispiel:

$$1.20.1.1 = (1 \times 60^3) + (20 \times 60^2) + 60 + 1 = 288.061$$

$$1.21.1 = (1 \times 60^2) + (21 \times 60) + 1 = 4.861$$

$$1.22 = (1 \times 60) + 22 = 82$$

Das Stellenwertsystem löst ab 2000 vChr endgültig das zuvor (ebenfalls) verwendete additive System ab. Möglicherweise ist das Stellenwertsystem von Mesopotamien nach Indien und dann über die Araber zu uns gelangt. Früh wird ein Zeichen für Freistellen = Lücken = Null eingeführt, das jedoch nicht konsequent verwendet wird, am ehesten in der Astronomie. Es gibt viele Mehrdeutigkeiten, die allenfalls aus dem Text heraus zu klären sind.

Die Anfänge „mathematischer“ Betätigung scheinen in der Berechnung von Flächen gelegen zu haben, wobei weder ein Gleichheitszeichen noch ein Pluszeichen existierte, wohl aber ein Zeichen für Minus. Es wurden früh Tafeln als Behelfe für die einfachen Rechenoperationen angelegt: (*Multiplikationstafeln*),

5 Das heutige Zeichen 0 für Null dürfte aus dem Griechischen kommen: *ouden* = nichts (dies ist aber umstritten).

6 S. dazu Robert Kaplan, *Die Geschichte der Null*, Frankfurt-NewYork 2000.

7 Das heutige Neugradsystem mit 400° wird nur in der Technik verwendet.

Quadriertafeln, (*Wurzeltafeln*), (*Tafel mit Reziprokwerten*), ja sogar (*Exponentialtafeln*), die als Vorformen der Logarithmen gesehen werden können. Es gibt aber auch Gegenüberstellungen von arithmetischen und geometrischen Reihen und auch Umrechnungstabellen für verschiedene Maßeinheiten.

Die Entwicklung der "babylonischen" Mathematik ist für uns nicht erkennbar. Sie ist gewissermaßen plötzlich weit entwickelt vorhanden. Eine Trennung von Algebra und Geometrie ist unmöglich. Es werden Flächen (auch von Polygonen) und Volumina von verschiedensten Körpern bis hin zum Kegelstumpf berechnet. Für die Behandlung des Kreises gibt es „Konstantentabellen“, die Sehnenwerte von Kreisteilen ausweisen⁸; für # wird in der Praxis der vergleichsweise miserable Wert 3 eingesetzt. Für #2 kennt man den Wert 1,416, dann 1,414213 (alle Stellen richtig), auch gibt es Beispiele für das Ziehen einer *Kubikwurzel*

Aus dem 18. Jh existiert die Berechnung einer Dreiecksfläche; der später nach *Pythagoras* benannte Satz ist bekannt. Ebenso werden Sehnen von Kreisen berechnet. Anlässe und Beispiele sind zumeist praktische Berechnungen, z.B. von Wassermengen in Kanälen, Aufteilung von Getreide, von Erbschaften, Zinsberechnungen etc. Für die Zeit ab 1800 vChr sind zahlreiche praxisorientierte Aufgabensammlungen bekannt: Volumsberechnungen von Gräben, Dämmen und anderen Bauwerken. In der Gleichungslehre gelangt man auch zu nicht unbedeutend komplizierteren Gleichungen.

Die Texte spielen allerdings vielfach Beispiele in eher abstrakter Weise durch, sodass beliebige Zahlen eingesetzt werden können – deshalb werden auch Operationen wie 1x1 oder #1 schriftlich ausgewiesen. Es werden auch *Gleichungen* zweiten Grades mit einer Unbekannten gelöst.

Die wichtigsten mathematischen Texte, wie auch diese *Tafel* aus Tell Harmal, stammen aus der Zeit zwischen 1800 und etwa 1650 vChr; auffallenderweise gibt es ab 1500 vChr fast keine mathematischen Texte mehr.

Insgesamt ist das Niveau unglaublich hoch. Vieles ist hinsichtlich seiner Entstehung und Entwicklung unklar. Es gibt auch Beispiele, die die richtigen Ergebnisse angeben, nicht aber den Weg, wie man zum Ergebnis gelangt.

Neben der eher nüchternen Mathematik existiert wie in anderen Kulturen auch (China, Pythagoräer) eine reiche Zahlenmystik.

1.2.2 Astronomie

In Mesopotamien wurden hervorragende astronomische Grundlagen erarbeitet, die uns durch die eingehenden Arbeiten vor allem von *Otto Neugebauer* und *Bartel van der Waerden* erschlossen worden sind. In systematischer, sich über Jahrhunderte hinziehender Beobachtung sind in Mesopotamien Gestirntafeln erarbeitet worden, deren Genauigkeit höchst verblüffend ist. Ausgangspunkt für die

8 Gericke 39f.

Entwicklung der mesopotamischen Astronomie⁹ war die Zeitrechnung resp. die **Kalendererstellung** sowie die Astrologie. Basis für die Zeitrechnung war der synodische Mondmonat¹⁰ (29,5 Tage), was in Bezug auf das Jahr ungleich lange Monate erforderte: das Jahr wurde mit 12 Mondmonaten angegeben, was um 1/3 Mondmonat zu wenig war, weshalb etwa alle drei Jahre ein Monat doppelt gezählt wurde, bis man dafür spezielle Perioden einrichtete.

Früh, bereits unter Hammurapi, wurden eingehende Beobachtungen der Venus angestellt, die relativ einfach zu gestalten waren. In Zusammenhang mit den Sternbildern in der Ekliptik, den Tierkreiszeichen, wurde auch die (dem nachmaligen zweiten *Keplerschen* Gesetz entsprechende) Änderung der (scheinbaren) Geschwindigkeit der Sonne festgestellt, und man operierte in der Folge mit zwei Geschwindigkeiten (jeweils für ein halbes Jahr).

Die lang dauernden Beobachtungen ließen auch die Vorstellung von lang dauernden Zyklen in den Gestirnsbewegungen aufkommen – es gibt verschiedene Vorstellungen von einem "Großen Jahr" (18 bis 6,480.000 Jahre, letztere Periode ist jene Zeit, die vergeht, bis alle Planeten wieder am selben Ort im Sonnensystem stehen – diese Vorstellungen haben vermutlich auch auf indischen Vorstellungen eingewirkt). Man kennt auch den Zyklus, in dem eine Sonnenfinsternis eintreten kann (233 Mondmonate, als Saros-Zyklus bezeichnet), offenbar wurde eine genaue Vorhersage der Sonnenfinsternis vom 8. März 2283 erarbeitet. Die Bezeichnung der Sternbilder, insbesondere der Tierkreiszeichen, muss, auf Grund der Präzession¹¹, bereits um 2750 vChr erfolgt sein; erst später ist die *Gradeinteilung* hinzugefügt worden. Man entwickelte eine unerhört präzise Zeitrechnung; bereits die Sumerer stellten die Dauer des Mondmonats genau fest und versuchten, das Mondjahr im Kalender mit dem Sonnenjahr in Einklang zu bringen.

Gestirnsorte werden (nachweislich in der seleukidischen Zeit, zweifellos aber auch schon früher) horizontal nach den Zodiakalzeichen und vertikal nach Graden ober- bzw. unterhalb der Ekliptik angegeben. Es sind zahlreiche *Ephemeridentafeln* überliefert, die exakten Gestirnspositionen, aber auch die (scheinbare) Geschwindigkeit der Sonne auf der *Ekliptik* (ausgedrückt in Grad pro Tag) angeben, in welchem Zusammenhang die Veränderung der Tageslänge innerhalb des Jahres genau festgestellt wird. Es werden auch Länge und Breite des jeweiligen Vollmondes sehr exakt berechnet. Auf dieser Grundlage konnte man feststellen, wann sich der Mond innerhalb von +2 und –2 Grad zur Ekliptik befindet, was

9 S. dazu Leo Oppenheim, *Man and Nature in Mesopotamian Civilization*, in: Bd 15 = Supplementband 1 des *Dictionary of Scientific Biography*, 1978, 634-666, und Bartel L. *van der Waerden*, *Mathematics and Astronomy in Mesopotamia*, in: Bd 15 = Supplementband 1 des *Dictionary of Scientific Biography*, 1978, 667-680

10 Bezüglich des Mondmonats ist zu unterscheiden zwischen der Umlaufdauer des Mondes um die Erde (= siderischer Monat, da in Bezug auf die Fixsternpositionen, mit 27,3 Tagen) und der Umlaufdauer des Mondes um die Erde bis zum Erreichen genau desselben Punktes zwischen Sonne und Erde – die Zeitspanne ist wegen der Bewegung der Erde um die Sonne etwas länger, nämlich 29,5 Tage.

11 S.w.u. *Hipparch*.

die Voraussetzung für eine Mondesfinsternis ist. All das setzte natürlich langfristige Beobachtungen mit entsprechenden Aufzeichnungen voraus. – Die exakte Berechnung des Mondortes ist sogar in unserer Zeit noch eine Herausforderung gewesen (auch z.B. für die Mondlandung 1969!).

Die Astronomie dient primär zur Feststellung von Gestirnspositionen, was für die Astrologie wesentlich war. Es werden nur beobachtbare und messbare Faktoren beschrieben. Spekulationen hinsichtlich des Wesens der Gestirne etc. wurden nicht angestellt bzw. sind nicht überliefert. Eine „physikalische“ Astronomie im Sinne einer „Himmelsmechanik“ wurde nicht entwickelt. Vorstellungen über die Organisation des Kosmos lassen sich lediglich aus *Mythen* ableiten.

Die Einführung der Woche erfolgte aus religiösen Gründen, ihre Tage sind (wie heute noch in vielen Sprachen) nach Gottheiten bzw. Planeten benannt. Die Länge der Woche mit sieben Tagen ist vermutlich darin begründet, dass die Zahl 7 als Unglückszahl galt, weshalb man an den Tagen 7, 14, 21, 28 als Vielfachen von 7 (wenn man es sich leisten konnte) nichts unternahm, also einen Ruhetag einschob, der im jüdischen Schöpfungsmythos die Grundlage für das Ruhen Gottes am 7. Tag und damit für unseren Sonntag ist¹². Auch die Tageslänge wurde der Jahreszeit entsprechend gerechnet und in drei Tageswachen und drei Nachtwachen eingeteilt.

Beobachtungsinstrumente der Frühzeit sind

- das Gnomon: („Erkenner, Anzeiger“ z.B. von Zeit), in seiner einfachsten Form als „indischer Stab“ bezeichnet, diente zur Feststellung des Sonnenstandes im Sinne einer Sonnenuhr, die aber für den Augenblick, in dem die Sonne im Zenith steht, die geographische Breite anzeigt bzw. errechnen läßt; es handelt sich dabei um ein zentrales Verfahren, wobei der Exaktheit der Messungen halber eine stete Vergrößerung vorgenommen wurde – man errichtete bronzene Gnomoi (in China sehr bald bis zu 15 Meter Höhe, im muslimischen und mongolischen Bereich dann noch höhere gemauerte Gnomoi, an die ein Wasserkanal mit Längenmarkierung anschloss, um zwischen Lot und Wasseroberfläche einen gesicherten rechten Winkel zu erhalten
- Sonnen- und Wasseruhren, die sehr bald mit einem Druckausgleich ausgestattet wurden, um die Stetigkeit des Wasserflusses sicherzustellen; vermutlich wurden auch Sanduhren verwendet
- das Hemicycleum, auch als Polos bezeichnet (eine halbkugelförmige Vertiefung in einem Stein, in deren Mittelpunkt sich (an einem Stab aufgestellt oder an einem Faden hängend) eine kleine Kugel befindet (Abbild des Himmelsgewölbes), am Rande befindet sich die erforderliche Skala

12 Unser Samstag stammt vom Sabbath ab, abgeleitet vom vulgärgriechischen sambaton = Sabbat, ahd sambatzac. Bei den Juden waren die Wochentage unbenannt, nur der Sabbat bezeichnet.

- später, aber sicherlich noch in der Antike, sind Visierrohre hinzugetreten, d.h. Röhren, deren Wirkung darin bestand, dass sie das die Beobachtung eines Gestirnsortes störende Licht ausschlossen.

Es darf nicht übersehen werden, dass alle beobachtende Astronomie bis 1609/10 (d.h. einschließlich der Beobachtungen Tycho *Brahes* und damit der *Keplers* Arbeiten zugrunde liegenden Daten) auf Beobachtungen mit freiem Auge beruhte! Erst 1609/10 kommt das damals neu erfundene Fernrohr zum Einsatz.

1.2.3 Medizin

Die Medizin war im mesopotamischen Raum früh gut entwickelt und zu Hammurapis Zeiten bereits streng geregelt. Als Medikamente dienten tierische, pflanzliche und mineralische Substanz, oft in komplizierten Mischungen. Unklar ist, was an Medikamenten auf Erfahrung und was auf magischer Grundlage beruhte.

Man kannte das Starstechen (Kataraktoperation), die chirurgische Behandlung auch tief sitzender Geschwüre; möglicherweise wurden auch Schädelöffnungen und der Kaiserschnitt zur Rettung von Ungeborenen durchgeführt, was zweifellos den endgültigen Tod der Mutter zur Folge gehabt haben muss.

Die Anfänge liegen zweifellos in der Magie. Es wird noch vielfach die Medikamentierung mit Exkrementen geübt – es soll der Krankheitsdämon durch unerträgliche Umstände vertrieben werden¹³.

Aus der Bibliothek Assurpanibals (um 650 vChr) ist eine Reihe von Medizintraktaten mit Diagnosen und Prognosen, Therapien etc. überliefert. In Hammurapis Gesetz bereits ist genau festgelegt, welche Pflichten und Ersatzleistungen ein Arzt (auch ein Tierarzt) zu leisten hat, falls seine Behandlung versagt oder Schaden anrichtet.

Die medizinischen Texte nur lassen Rückschlüsse auf die anatomischen und allfälligen physiologischen Kenntnisse zu. Anatomische Kenntnisse hat man vermutlich wesentlich an Opfertieren, in Zusammenhang mit der Eingeweideschau¹⁴ und ähnlichem erworben. Nichts deutet auf gezielte Untersuchungen oder irgendwie abstrahierendes Erkenntnisstreben hin.

1.3 Ägypten

¹³ Z.B. wurden in China U.a. Fledermausexkremente bei Augenkrankheiten angewendet, was zufällig sehr positiv war, weil diese Exkremente reich an Vitamin A sind, dessen Mangel die Krankheit hervorruft.

¹⁴ Magie und Mythos hatten hohen Stellenwert. Prognosen wurden gestellt auf Grundlage der Eingeweide, der bewegung von Flammen, der Vermischung von Wasser und Öl, Leberschau, Traumdeutung, Bewegung von in das Wasser geworfenen Gegenständen etc.

Naturgemäß geht auch in Ägypten die Entwicklung wie in Mesopotamien wesentlich von der Praxis aus. Die Astronomie ist in Bezug auf die jährliche Nilüberschwemmung bzw. den Kalender von Belang, und Mathematik über ihre hilfswissenschaftliche Funktion für die Astronomie hinaus hinsichtlich der Vermessung der durch die Überschwemmung immer wieder veränderten Grundstücke.

1.3.1 Mathematik

Wie schon die Schrift hinsichtlich der Mehrfachbedeutung der Zeichen (hieratisch wie demotisch) wie hinsichtlich der Schreibrichtung (dies kann sehr stark auch von ästhetischen Momenten beeinflusst sein – der Anfang eines hieroglyphischen Satzes befindet sich dort, wohin die anthropo- oder zoomorphen Zeichen „blicken“) sehr kompliziert ist, verhält es sich auch hinsichtlich der Zahlen so. Zahlzeichen gab es bis zu einer Million (= *Gott der Unendlichkeit*). Die Ägypter benutzten das Dezimalsystem, es wird aber kein Stellenwertsystem entwickelt; zur Bezeichnung der Stellenwerte (10, 100, 1000) werden jeweils eigene Zeichen verwendet (wie bei den römischen Zahlzeichen); in der Schreibweise bleibt man beim ursprünglichen additiven System stehen.

Für die Quadratwurzel gibt es ein eigenes Zeichen (nach links gewandter rechter Winkel, also symmetrisch zu unserem #). Die allgemeine quadratische Gleichung kommt allerdings in den überlieferten Texten nicht vor.

Bedeutsam ist die Verwendung von (Stamm-)Brüchen; nach dem Modell des (dem Mythos entsprechend in sechs Teile zerfetzten) *Horus-Auges*: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$ und $\frac{1}{64} = \frac{63}{64}$!.

Rechentechnisch kann die ägyptische Mathematik¹⁵ mit der mesopotamischen nicht mithalten. Man ist wesentlich von der Handhabung von Brüchen bestimmt. Es sind auch vergleichsweise nur wenige mathematische Texte überliefert (deren Interpretation mitunter nicht eindeutig möglich ist, z.B. hinsichtlich der Formel für die Berechnung der Fläche eines Dreiecks). Sie sind inhaltlich – ähnlich wie in Mesopotamien – von sehr konkreten Problemen bestimmt und geben eigentlich nur Rechenanleitungen und Ergebnisse, aber keine Erklärungen, wie vorzugehen sei.

Hauptquellen für die Mathematik sind folgende Papyri:

- 1 Papyrus Moskau (534 x 8 cm) – pMoscow 4676 – enthält 25 mathematische Aufgaben. – Dieser Papyrus wurde von Vladimir Semionovitsch Golenischeff 1893 erworben, der ihn 1911 dem Museum von Moskau schenkte. Der Papyrus ist in hieratischer Schrift verfasst worden, möglicherweise handelt es um eine Art „Prüfungsarbeit“. Diese Annahme wird zum einen durch die (geringe) Anzahl von 25 Aufgaben untermauert, zum anderen auch durch den Zusatz hinter den Aufgaben, etwa „Du hast richtig herausgefunden“.

15 Richard J. Gillings, *The Mathematics of Ancient Egypt*, in: Bd 15 = Supplementband 1 des *Dictionary of Scientific Biography*, 1978, 681-705.

2 Papyrus Rhind (534 x 33 cm) – (pBM 10057-10058, veröffentlicht von Chace, Peet und Eisenlohr); der Papyrus ist benannt nach dem schottischen Juristen A. H. Rhind, der ihn 1858 in Luxor erwarb; seit 1864 befindet sich der Papyrus im British Museum. – ist etwas jünger und enthält diverse Divisionen und 84 Aufgaben in lehrbuchartiger Anordnung; stammt aus der Hyksos-Zeit (um 1600). In der Folge gibt es nur geringfügige Fortschritte.

Der Papyrus Rhind hat eine Länge von 5,5 Meter und ist 32 cm breit. Er wurde in hieratischer Schrift verfasst und enthält 87 mathematische Textaufgaben sowie Brüche-Tafeln. Die einleitende Fragestellung bzw. Aufgabe ist mit roter Tinte geschrieben. Der Papyrus selbst basiert auf einer Abschrift eines 200 Jahre älteren Dokuments des Schreibers Ah-Mose, der diesen Text während der Fremdherrschaft der Hyksos (17. Dynastie) angefertigt hatte. Der Autor des Papyrus Rhind begann sein Dokument mit folgenden Worten: „Genaues Rechnen. Einführung in die Kenntnis aller existierenden Gegenstände und aller dunklen Geheimnisse. Dieses Buch wurde geschrieben im Jahre 33, im vierten Monat der Überschwemmungsjahreszeit unter seiner Majestät dem König von Ober- und Unterägypten A-user-Re, mit Leben versehen, in Anlehnung an eine ältere Schrift aus der Zeit des Königs von Ober- und Unterägypten Ah-Mose hat die Abschrift angefertigt.“

3 Eine Leder-Rolle im British Museum pBM 10250, veröffentlicht durch Glanville; sie wurde ebenfalls von Rhind erworben, auf Grund ihres sehr schlechten Zustandes aber erst 1927 entrollt. – sie enthält 26 Aufgaben zur Bruchrechnung) und

4 zwei Tafeln in Kairo

und zusätzlich noch etwa ein Dutzend weiterer demotischer Texte.

Die Zahl # wird (wie übrigens in Mesopotamien auch) nirgends als eine Konstante als solche erwähnt. Wenn als erstaunlich gut empfundene Werte angegeben werden, dann sind diese nur interpretierend erschlossen, indem man den Versuch der Quadrierung des Kreises auswertet, dem die Ägypter ein Quadrat mit der Seitenlänge von $\frac{8}{9}$ des Kreisdurchmessers flächengleich setzen, was eben den Wert 3,1605 ergibt¹⁹.

Addieren und Subtrahieren als Grundrechnungsarten; für das Dividieren benützte man Tabellen. Multiplizieren geschah durch Addieren oder durch wiederholtes Multiplizieren mit 2, Dividieren durch Halbieren, beides mit Hilfe von Tabellen – diese Operationen benötigte man vor allem im Zusammenhang mit Kanalbauten. In der Gleichungslehre werden quadratische Gleichungen mit zwei Unbekannten behandelt.

19 Es wird im Falle eines Kreises mit dem Durchmesser 9 gerechnet: Kreis: $r=4,5 > r^2\# = 20,25 \times 3,1605 = 64,000125$; flächengleiches Quadrat: $8^2 = 64$. – Gleichwohl wird in der Literatur immer wieder ein Wert für # angegeben, als würde in den Originaltexten mit einer derartigen fixen Größe gerechnet.

Als Hilfsmittel diente der Abacus²⁰, von dessen *calculi* (lat. Steinchen) später der Begriff „Kalkül“ und „kalkulieren“ abgeleitet sind. Ein anderes Hilfsmittel war der Sandrechner²¹. Bruchrechnen wurde nur in Form von Stammbrüchen (d.h. Brüchen mit 1 im Zähler) geübt.

Die Kenntnis des Lehrsatzes des *Pythagoras* ist gegeben, allerdings wohl nur durch Probieren: Ein Seil mit 12 Knoten zu einem Dreieck mit 3,4,5 Teilen/Seiten gelegt, ergibt einen rechten Winkel (die Landvermesser wurden deshalb als "Seilspanner" bezeichnet) – möglicherweise ist der rechte Winkel erstmals beim Weben beobachtet worden, wo er sich gleichsam von selbst ergibt; es finden sich bereits auf sehr frühen Höhlenzeichnungen "geschachte", also rechtwinkelig gegliederte Flächen.

Dreiecksflächen werden u.a. auch auf Rechtecke zurückgeführt und so berechnet, ähnlich auch Trapeze. Es werden gute geometrische Kenntnisse erarbeitet, die Volumsberechnungen (Pyramide, Pyramidenstumpf, Zylinder, Halbkugel) wie auch eine leistungsfähige Landvermessung und eine Entwicklung hin zu den ersten Stadtplänen und zur Kartographie ermöglichen. Es gibt *Visierinstrumente* (Kreuz mit abhängenden Fäden mit Gewichten, über die Fäden wird visiert, später im Lateinischen als „*stella*“ oder auch „*groma*“ bezeichnet)²².

1.3.2 Astronomie

Auch in Ägypten kommt hinsichtlich der Astronomie dem **Kalenderwesen** große Bedeutung zu²³. Die Chronologie beruht auf dem heliakischen Aufgang des Sirius (= Sothis)²⁴. Auf den heliakischen Aufgang des Sirius folgt innerhalb weniger Tage die Nilüberschwemmung.

Das Jahr zerfiel in drei Jahreszeiten (Überschwemmung, Rückgang des Wassers, Trockenheit) zu je 4 der 12 Monate a 30 Tage + 5 heilige Ergänzungstage, daher Differenz von 1/4 Tag auf das astronomische Sonnenjahr, weshalb der Kalender gegenüber den astronomischen Gegebenheiten ständig vorrückte und mit diesen erst nach $365 \times 4 = 1460$ Jahren wieder übereinstimmte (= Sothis-Periode); da 139 nChr eine Sothis-Periode begann, lässt sich aus verschiedenen Quellen rückrechnen, dass vermutlich bereits 4241 vChr (nach anderen 4233-4229) der Kalender in dieser Form bekannt war, wahrscheinlicher ist aber die Zeit 2777-2773 oder das Jahr 2781 als Anfangsjahr anzunehmen. Dieser alte ägyptische Kalender ist durch den Julianischen Kalender abgelöst worden, zu dem der Ägypter *Sosigenes aus Alexandria*

20 S.w.u. Aus dem Abacus sind die neueren Rechenbretter hervorgegangen, die enorm schnelles Rechnen erlauben – 1945 schlug ein japanischer Champion auf diesem Gebiet einen Amerikaner auf einer elektrischen Rechenmaschine vernichtend.

21 Noch im 19. Jh wurden in europäischen Schulen von den SchülerInnen sandbestreute Rechenbretter benützt.

22 Rechenbeispiele finden sich *hier*

23 S. dazu Richard A. Parker, *Egyptian Astronomy, Astrology and Calendrical Reckoning* (in: Bd 15 = Supplementband I des *Dictionary of Scientific Biography*, 1978, 706-727).

24 Heliakischer Aufgang = Aufgang eines Sternes gerade noch lange genug vor der Sonne, daß er als "Morgenstern" sichtbar wird; ein Fixstern bleibt gegenüber der Sonne pro Tag um eine Minute zurück.

durch die „Erfindung“ des alle vier Jahre einzulegenden Schalttages beigetragen hat. Die praktische Zeitrechnung als solche orientierte sich an den Regierungsantritten der einzelnen Pharaonen.

Zur Zeitmessung wurden einfache Sonnenuhren benützt, die beliebig aufgestellt werden konnten und mit einem Lot eingerichtet wurden – die Schattenlänge gab die Zeit an. Daneben gab es aber auch Sternuhren (= Sternkarten, wobei jede Nachtstunde mit einem „Dekan“ verbunden ist, d.h. einem Fixstern) und vor allem Wasseruhren – von den Griechen Klepsydra genannt. Tag und Nacht wurden in 12 Stunden geteilt, deren Länge naturgemäß schwankte, was für wirklich exakte Beobachtungen ungenügend war.

Die ägyptischen Tierkreiszeichen sind eng mit den mesopotamischen verwandt. Astronomische Schriften im eigentlichen Sinne sind so gut wie nicht überliefert.

1.3.3 Medizin

Die Ärzte bildeten eine geschlossene Kaste von sehr hohem sozialem Status. Die Hygiene war gut ausgebildet, man kannte das Klistier (möglicherweise nach Vorbild des Ibis) und es gab früh klare Vorschriften hinsichtlich der Diagnose und der Behandelbarkeit einer Krankheit – es wird prinzipiell unterschieden zwischen behandelbaren und nicht behandelbaren Krankheiten, beide werden aber versorgt. Bei den unbehandelbaren soll die Krise abgewartet werden. Es gibt Spezialisten wie Augenärzte, für den Schädel (Trepanationen wurden offenbar routinemäßig durchgeführt), für Verdauungsorgane etc. Es sind recht umfangreiche medizinische Texte überliefert (vor allem Papyrus *Ebers* und, in chirurgischer Hinsicht, Papyrus *Edwin Smith*²⁵). Im Unterschied zu Mesopotamien kommt es in Ägypten zu ersten Anfängen *theoretischer Auffassungen*, insbesondere hinsichtlich der Anatomie (nicht zuletzt durch die Konservierung der Körper in der Mumifizierung) und der Physiologie.

1.4 Indien

Indien weist ebenso wie China nur wenig Kontakte mit der Entwicklung im Westen auf, durchläuft langhin eine offenbar weitgehend isolierte eigenständige Entwicklung, die wesentlich bestimmt erscheint durch das Moment der Bewahrung tradierter Erkenntnisse und Verfahren. Was die anzunehmenden Einflüsse anlangt, so nimmt David *Pingree*²⁶ hinsichtlich der Astronomie als einer der wichtigen Disziplinen fünf Beeinflussungsschübe an: im 5. Jh vChr aus Mesopotamien (via Iran), im 2. und 3. Jh nChr aus Mesopotamien durch die Griechen, im 4. Jh nChr direkt aus dem griechisch beeinflussten Bereich (später dann vom 10.-18. Jh aus dem Iran und schließlich aus England).

25 Auszüge aus beiden finden sich bei Pichot 223ff.

26 In seiner "History of Mathematical Astronomy in India" (1978, in Bd 15 = 1. Supplementband des Dictionary of Scientific Biography 533-633).

Insgesamt herrscht aber bezüglich der Beeinflussungen vielfach Unklarheit. „Indien“, das ja nicht als eine geschlossene Einheit, sondern als ein Raum mit vielfältigen unterschiedlichen Traditionsfeldern zu sehen ist, ist verschiedentlich wohl auch eine Mittlerrolle zwischen Ost und West zugekommen. Es bestehen frappierende Ähnlichkeiten z.B. in der Zahlenmystik, so wird die Zahl 36 bei den Pythagoräern und auch in China als eine „heilige Zahl“ angesehen (sie vereinigt die ersten ungerade und geraden Zahlen: $1+3+5+7+2+4+6+8$). – die Bedeutung und Tiefsinnigkeit der indischen Mathematik wurden erst im 19. Jh entdeckt.

Für die Zeit vor dem 5. Jh vChr sind astronomische bzw. kalendarische Vorstellungen in den Rigveda²⁷ überliefert, die aber kein geschlossenes oder festes System erkennen lassen. Aus der Zeit um 500 vChr liegen Schriften vor, die als „Leitfaden für die Messkunst“ = Sulbasutra bezeichnet wurden, die u.a. dem korrekten Bau von Altären dienten (Feststellung der Ost-West-Linie mit Hilfe des indischen Stabes), in denen für „#“ der Wert $3 \frac{1}{225}$ verwendet wird und sich pythagoräische Zahlentripel wie 3,4,5 finden. Versuche der Umsetzung des Quadrats in einen Kreis etc. "Erfindung" der Null. Wurzelziehen, Gleichungen zweiten Grades, negative Größen, Umwandlung eines Quadrats in einen flächengleich Kreis. Meist allerdings erst im 1. Jh n.Chr.

Nach dem Alexanderzug werden neue Zahlzeichen verwendet, und es werden auch Elemente der griechischen Mathematik eingebracht. Die in der Folge leicht gewandelten Zahlzeichen werden schließlich von den Arabern und dann als "arabische Ziffern" nach Europa übernommen.

498 schrieb *Aryabhata I* das Werk "Aryabhatiya" in Versen, die zum Auswendiglernen gedacht waren und deshalb auch der mündlichen Erläuterung bedurften, d.h. heute nur schwer verständlich sind. das Werk ist in vier Abschnitte gegliedert:

- Zahlenlehre
- Rechenkunst, Mathematik: für „#“ wird der Wert 3,1416 verwendet, wie man dazu kam, ist unbekannt; weiters wird bereits die Sinus-Funktion angewendet, die die vorher gebräuchlichen Sehnentafeln abgelöst hat; weiters der Satz des Pythagoras (ohne Beweis); wesentlich sind die arithmetischen Reihen und die Ausformung der unbestimmten Arithmetik, quadratische Gleichungen (Anwendungen in der Astronomie).
- Zeitrechnung in einer Synthese von mythologischen Vorstellungen und exakten astronomischen Angaben
- Lehre von der Kugel – Sphärik.

Ähnliche Werke sind in weiterer Folge auch von anderen Autoren verfasst worden, und es entwickelte sich eine umfangreich mathematisch-astronomische Literatur, der eingehende astronomische

²⁷ Die Rigveda ist die älteste von vier Sammlung von Hymnen in 10 Liederkreisen (Mandalas), von denen die Mandalas 1-9 in der Zeit zwischen 2000 und 1750 vChr entstanden sind, Mandala 10 vermutlich ab 1200 vChr.

Beobachtungen zugrunde gelegen haben müssen, wobei die theoretischen Grundlagen vermutlich wesentlich aus dem Westen übernommen worden sind und die Astronomie sehr isoliert (oft in Familientradition) und abgeschlossen betrieben und nie in einen weiteren wissenschaftlichen Konnex eingebracht wurde. Sie wurde lediglich in Zusammenhang mit Astrologie und mit der Beobachtung bestimmter astronomischer Grundlagen für Zeremonien von Außenstehenden wahrgenommen.

Neben ausgefeilten philosophische Theorien, u.a. Atomtheorie, pflegte man hohe praktische Kenntnisse (Kompass, Metallurgie etc.), doch fehlt es noch an einer echten Verbindung zwischen Theorie und Praxis.

Angemerkt sei, dass Indien hinsichtlich der Medizin den höchsten Stand unter allen Völkern der alten Welt erreicht hat – man betrieb bereits einigermaßen systematisch Bereiche wie Anatomie und Embryologie. *Sushutra* (um 500 vChr) nennt in einem berühmten Werk an die 1000 Krankheiten, erwähnt eine Fülle von chirurgischen Eingriffen (darunter die Hauttransplantation!) und 121 medizinisch-chirurgische Instrumente. Impfungen sind ebenso wie Verfahren mit Gegengiften bekannt, und man setzt sich mit einer geistig-psychologischen Beeinflussung von Krankheitserscheinungen auseinander²⁸.

1.5 China

Die Entwicklung in China ist trotz der eingehenden Arbeiten von Joseph *Needham* nur schwer erfassbar, weil es immer wieder an sicheren Datierungen fehlt. Hinzu kommt, dass die Frage der Selbständigkeit der Entwicklung oder ihrer Beeinflussung von Indien und anderen Bereichen her nicht mit Sicherheit zu klären ist. So sind z.B. bezüglich der chinesischen Mathematik lange sehr unterschiedliche Auffassungen vertreten worden. Durch die Arbeiten von Joseph *Needham* ist das Bild wesentlich schärfer geworden und es ist erkennbar, dass in China früh sehr beachtliche Leistungen erbracht worden sind. S.w.u.

2 Klassisches Altertum

Die grundlegenden Vorstellungen der abendländischen und „westlichen“ Auffassung sind im klassischen Altertum mit den frühen Anfängen der griechischen Philosophie bzw. Naturvorstellung entwickelt worden.

28 Fortsetzung im Bereich Mittelalter

Mit den Griechen setzt die systematische Erkenntnisarbeit, der Prozess der Entwicklung von Wissenschaft im eigentlichen Sinne ein, indem sie eine Form theoretischen Wissens pflegen und damit den Übergang von der *techné* zur *epistémé*, von der *praxis* zur *theoría* vollziehen.

2.1 Grundlegende Vorstellungen

Bezüglich der Frühzeit ist daran zu erinnern, dass erst von *Platon* vollständige Texte überliefert sind. Unsere Kenntnis der frühen griechischen Philosophie beruht auf Fragmenten und rückblickenden Erwähnungen (oft wohl auch nur vermeintlicher) philosophischer Auffassungen bei späteren Autoren (u.a. *Aristoteles*), die mitunter stark durch Interpretationen, und dies oft genug auf Grundlage nur von Übersetzungen, überlagert und ausgeweitet worden sind.

2.1.1 Natur der Materie

In der ionischen Naturphilosophie sucht man nach einem Urstoff, aus dem alles bestehen soll:

Thales von Milet nimmt Wasser als den Urstoff an, *Heraklit* das Feuer, *Anaximenes* die Luft (Seele-Atem).

Anaxagoras postulierte Teilchen, aus denen sich die sichtbare Materie in ihren unterschiedlichsten Formen zusammensetzt.

Empedokles 494/482 – 434/420 festigt die Lehre von den vier Elementen²⁹, die später von *Aristoteles* übernommen wird. Bewegung ist für ihn eine Bewegung im Vollen – etwa wie ein Fisch im Wasser, bedarf also eines Mediums. Hinsichtlich der Materie ist er der „Urvater“ der Atomistik – er sieht die Elemente aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt. Die makroskopisch erkennbaren Materieformen beruhen auf unterschiedlichen Gemischen der vier Elemente. Entwickelt eine gewisse Nähe zur Vorstellung von Evolution.

Leukippos und dann sein Schüler *Demokrit* von Abdera (460–370) entwickelten die Vorstellung von winzigen Bausteinen: Atomen (a-tomos = unteilbare), die alle aus demselben Stoff bestehen, sich nur in Form und Gestalt unterscheiden (Form, Anordnung und Lage); alles entsteht durch ihr Zusammentreten, vergeht durch ihr Auseinandertreten. Die Atome selbst sind unvergänglich und für alle

29 "Jetzt züförderst vernimm des Alls vierfältige Wurzeln: Feuer und Wasser und Erd und des Äthers unendliche Höhe. Daraus ward, was da war, was da sein wird oder was nun ist". – *Empedokles* wies auch nach, daß Luft ein Stoff ist; er legte eine Rangordnung der Elemente fest: Erde, Wasser, Luft, Feuer. Wasser ist weiblich, Feuer männlich, sie wirken aufeinander und schaffen so die Stoffe der natürlichen Welt, auch Erde und Wasser. Die Elemente befinden sich keimhaft in allen Substanzen und haben ganz spezifische Eigenschaften, die sie diesen mitteilen: trocken, feucht, kalt, warm, schwer, leicht.

Zeit unveränderlich und bewegen sich im leeren Raum, was eine neue, sehr gewagte Lehre war³⁰. Daraus folgt, dass alle unsere Wahrnehmungen inkorrekt sind, denn wir sehen nur Form, Farbe, nehmen Geruch und Wärme wahr, aber keine Atome. Eine ähnliche Vorstellung gibt es in der indischen Philosophie, doch scheint eine Beeinflussung des *Leukippos* von dort sehr unwahrscheinlich. *Demokrit* vertrat die Auffassung, dass sich unsere Wahrnehmung der Welt dadurch vollziehe, dass sich von den Körpern Atome ablösen und in unseren Sinnesorganen Eindrücke erzeugen.

Die Lehre *Demokrits*, der auch anderweitig tätig war (so sind ihm Sektionen zugeschrieben worden), ist von *Epikur* und später von *Lukrez* in seinem Werk „De rerum natura“ propagiert worden – *Aristoteles* hat sie abgelehnt, obgleich er sie unter einzelnen Aspekten auch positiv gesehen hat.

Platon geht von einem qualitätslosen Grundstoff aus, dem die *geometrischen Formen* der regelmäßigen Körper *aufgeprägt* werden³¹: Erde = Würfel, Feuer = Tetraeder, Luft = Oktaeder, Wasser = Ikosaeder. Dass die letztgenannten aus Dreiecken zusammengesetzt sind, garantiere ihre Unwandelbarkeit. Aus zwei Teilen Feuer kann ein Teil Luft entstehen, aus 2,5 Teilen Luft ein Teil Wasser. Erde kann nicht umgewandelt werden. Unveränderlich ist auch der aus Fünfecken bestehende Dodekaeder, dessen Gestalt sich der Schöpfer für das Weltganze bedient (*Timaios*).

Aristoteles geht davon aus, dass es etwas gibt, an dem die Veränderung vorgenommen wird, das sich aber selbst nicht verändert (wie z.B. der Mensch Mensch bleibt, auch wenn ein Ungebildeter ein Gebildeter wird). Der allem zugrunde liegenden Substanz wird eine Form aufgeprägt (nicht geometrisch zu verstehen), die sich aus den Gegensatzpaaren von Qualitäten ergibt:

kalt + trocken = Form Erde

kalt + feucht = Form Wasser

warm + feucht = Form Luft

warm und trocken = Form Feuer.

Um das daraus sich ergebende Problem der Qualitäten zusammengesetzter Körper zu bewältigen, auf das *Aristoteles* nur ganz knapp eingegangen ist, hat man im Mittelalter auch Quantitäten (*intensio* und *extensio*) eingeführt.

2.2 Mathematik

30 Die Frage, ob es ein Vakuum geben könne oder nicht, hat die naturwissenschaftlichen und philosophischen Diskussionen bis in das 20. Jh maßgeblich bestimmt – noch im 20. Jh arbeiteten vor allem die englischen Physiker noch mit der Vorstellung von der Existenz eines Äthers. Der *horror vacui* manifestierte sich lange in vielen Bereichen, auch in der Kunst.

31 Die fünf platonischen Körper, denen jeweils eine Kugel ein- und umgeschrieben werden kann, sind: Tetraeder, Würfel, Oktaeder, Ikosaeder, Dodekaeder. Es kann nur genau fünf vollkommen symmetrische Polyeder geben, da eine Ecke im Raum mindestens drei Flächen verlangt und deren Winkelsumme in den Ecken des Körpers nicht größer oder gleich 360° sein darf.

Die Griechen begründen die Mathematik als eine Form theoretischen Wissens; sie gehen im Unterschied zu den Mesopotamiern und den Ägyptern in der Mathematik von speziellen Vorschriften für bestimmte Berechnungen zu allgemeinen Sätzen über – „Nirgends hat sich ein Zeichen dafür gefunden, dass die Babylonier oder gar die Ägypter jemals den Versuch gemacht hätten, alle mathematischen Sätze streng logisch von ersten Prinzipien abzuleiten“³². Das ermöglicht

- a) die Fortführung des Erkenntnisprozesses und
- b) vereinfacht die Sache wesentlich, da ein allgemeiner Satz viele Vorschriften ersetzen kann.

Dies ist zur Zeit Platons vollzogen.

Begriff der Zahl umfasste nur die natürlichen, positiven ganzen Zahlen. Zahl wurde als "Zusammenfassung von Einheiten" definiert, was für alle Zahlen mit Ausnahme der Zahl 1 galt. Alles andere wurde nicht als Zahl bezeichnet – Brüche, irrationale Zahlen etc. Brüche sind für Euklid Teile einer Zahl.

Generell gesehen wird in der Weiterführung der Mathematik bei den Griechen die **Arithmetik** weniger intensiv betrieben als die Geometrie, da die Verwendung von Buchstaben als Zahlzeichen sehr umständlich war, wie auch noch bei den Römern, und keine Kenntnis der Null und des Stellenwertes, so gut wie keine Bruchrechnung gegeben waren. Die Zahlenlehre wird vor allem von den Pythagoreern gepflegt, auf die auch die arithmetischen Bücher des Euklid zurückgehen. Es sind keine Lehrbücher der elementaren Arithmetik erhalten.

Intensiv ist hingegen die Entwicklung in der **Geometrie** – Euklids Elementa waren fast bis in die Gegenwart nahezu unverändert als Lehrbuch tauglich.

Insgesamt sehen Neugebauer und van der Waerden die griechische Mathematik als die „Systematisierung und exakte Begründung“ des in der mesopotamischen Mathematik Vorhandenen und damit „nicht mehr am Anfang der Geschichte der Wissenschaft, sondern etwa in der Mitte“³³.

Die Überlieferungslage ist insofern für die Frühzeit sehr schlecht, als erst ab Euklid vollständige Werksabschriften überliefert sind und alle früheren Entwicklungen aus Fragmenten und mehr noch aus Berichten relativ später Autoren rekonstruiert werden müssen, die naturgemäß sehr kritisch zu bewerten sind. Die meisten der bei diversen Autoren zitierten Schriften sind nicht erhalten³⁴. Euklid nimmt bezüglich der Erschließung eine ähnliche Position wie Aristoteles hinsichtlich der Philosophie

32 K.v.Fritz, zitiert bei Árpád Szabó, Anfänge des Euklidischen Axiomensystems. In: Zur Geschichte der griechischen Mathematik, hg. von Oskar Becker, Darmstadt 1965, 355-461.

33 Bartel van der Waerden, Die Arithmetik der Pythagoreer, in: Zur Geschichte der griechischen Mathematik, hg. von Oskar Becker, wbg 1965203-254, 208.

34 Sehr deutlich werden diese Verhältnisse in der Behandlung der griechischen Mathematik bei Moritz Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 4 Bde Leipzig 1891-1908, Bd 1 105-482, erkennbar.

ein, indem in seinen Werken frühere Mathematiker genannt und hinsichtlich ihrer Leistungen beurteilt werden.

Zumeist aber haben die Aufzeichnungen eher den mathematisch-technischen Bereich zum Gegenstand – metamathematische Fragen werden nur selten erörtert. Interessant ist, dass, sehr zum Unterschied von anderen Kulturen, die Chronologie, die Kalenderfrage bei den Griechen kaum eine Rolle spielt. Viel mehr stehen technische Fragen im Vordergrund.

Im 5. Jh verwenden die Griechen noch zwei verschiedene Systeme zur Notation von Zahlen:

- die Bezeichnung von Zahlen mit dem Anfangsbuchstaben ihres jeweiligen Namens („akrophonisch“)
- die Bezeichnung von Zahlen durch die Buchstaben des Alphabets („herodisches System“). Hier werden die Zahlen von 1-9 mit den ersten Buchstaben bezeichnet, wobei das alte Digamma als 6 fungiert. Für 10-90 folgen die folgenden Buchstaben (inkl. koppa), wobei dabei und für noch höhere Werte zusätzliche Symbole verwendet werden (Strich davor für Tausender, M für Myriade = Zehntausender. Dieses System, das das gängige wird, ist nicht so unhandlich, wie dies früher immer wieder behauptet worden ist.

Was die arithmetischen Formen und Verfahren anlangt, so ist der ägyptische Einfluss unverkennbar: hellenistisch-griechische mathematische Papyri sind diesbezüglich kaum von den älteren ägyptischen unterscheidbar. Bezüglich der Geometrie gehen Spezialisten wie *Neugebauer* und *van der Waerden* von starkem mesopotamischem Einfluss aus, was aber nicht allgemein akzeptiert wird³⁵. Vermutlich hat aber Ägypten diesbezüglich eine Art Brückenfunktion gehabt.

Hippokrates von Chios um 400 vChr verwendete als erster Buchstaben zur Bezeichnung geometrischer Elemente.

Am Anfang der spezifisch griechischen Entwicklung stehen wohl *Thales von Milet* und die Pythagoräer, wenn auch längst nicht mit jener Bedeutung und Wirksamkeit, die ihnen früher (auf Grund von Aussagen von Neuplatonikern wie *Proklos* und *Iamblichos*, die in *Pythagoras* den Vorgänger *Platons* erblickten) stets zugeschrieben worden ist. Wohl aber haben sie maßgeblich Anteil gehabt an der Auffassung, dass die Arithmetik ein Modell für die Arbeit im Bereich der Kosmologie und der Naturtheorie sei. Viele der Zuschreibungen von spezifischen „Entdeckungen“ durch *Pythagoras* sind allerdings eher fragwürdig und entbehren tragfähiger Quellengrundlagen.

Pythagoras von Samos (6. Jh)

35 Es wird in der Literatur auch die Auffassung vertreten, daß mesopotamischer Einfluß erst ab dem 2. Jh vChr, und da nur in der Astronomie, erkennbar sei.

Pythagoras lebte in Kroton in Unteritalien, soll Reisen bis in den Orient und nach Ägypten unternommen haben; ab 529 gründete er in Unteritalien eine Art Orden mit detaillierten Regeln³⁶, dessen Ziele eine sittliche, harmonische Lebensführung, die Pflege der Weisheit und Wissenschaft waren – ob es sich dabei um den ersten wissenschaftlichen Zusammenschluss im Abendland oder nur um einen religiös dominierten Geheimbund gehandelt hat, sei hier dahingestellt. Um 450 wurden die Pythagoräer aus Unteritalien vertrieben. Es ist fraglich, ob *Pythagoras* selbst überhaupt eigenständige wissenschaftliche Leistungen vollbracht hat. *Platon* und *Aristoteles* sprechen nur von "den Pythagoräern"³⁷, nicht von *Pythagoras*. *Pythagoras* selbst wird in neuester Literatur sogar als „Magier“ und als „Schamane“ angesprochen.

Pythagoras dürfte als erster das Wort „Mathematik“ in unserem Sinne gebraucht haben (bedeutete vorher Wissen im Allgemeinen bzw. ein geordnetes System von Sätzen samt Beweisen) und auch „Philosophie“ und „Kosmos“. Der Mathematik wies er offenbar in der Hierarchie des Wissens den ersten Rang zu, wenn er annahm, dass die Ordnung der gesamten Welt auf zahlenmäßigen Verhältnissen beruhe – dies bedeutet ja die Vorstellung von einer allgemeinen, das Universum regierenden Gesetzmäßigkeit. *Pythagoras* soll auch das mathematische Beweisverfahren eingeführt haben, nach dem jeder Satz aus dem vorangehenden logisch abgeleitet wird; da der Ausgangssatz gesichert ist, muss alles Nachfolgende in sich korrekt sein (Deduktion).

Unklar ist, ob *Pythagoras* den berühmten, nach ihm benannten Lehrsatz neu fand (dieser war ja viel früher schon in Mesopotamien bekannt). Unbekannt ist auch, welcher der zahlreichen möglichen Beweise von den Pythagoräern geliefert wurde bzw. wann die Gruppe der sich um den klassischen Satz des *Pythagoras* rankenden Sätze erfasst wurde³⁸. Es wurde von den Pythagoräern neben der Geometrie auch Arithmetik betrieben, vor allem Zahlentheorie, die allerdings in eine Zahlenmystik ausartete, indem man jeder Zahl eine bestimmte Eigenschaft zuschrieb und die Zahlen als die eigentliche Wirklichkeit betrachtete (2 männlich, 3 weiblich, 4 Gerechtigkeit, 5 Ehe /2 plus 3/, 10 Kosmos, da 1+2+3+4). Unterscheidung von geraden und ungeraden Zahlen, Primzahlen, Dreieckszahlen und Quadratzahlen, später auch Frage der Verdoppelung des Würfels (delisches Problem). Es erfolgt eine eingehende Beschäftigung mit geraden und ungeraden Zahlen und den sich aus ihrer Existenz ergebenden Problemen und mit der Ableitung von Regeln wie: Summe einer ungeraden Anzahl ungerader Zahlen ist gerade; gerade minus gerade ergibt gerade; ungerade minus gerade ergibt ungerade etc.

Ähnlich wie mit *Pythagoras* verhält es sich mit

36 Dieser Orden ging unter, als vermutlich im Jahr 445 Gegner der Pythagoräer das Haus des *Milon* in Kroton anzündeten, als sich alle Pythagoreer dort versammelt hatten – nur zwei entkamen den Flammen.

37 Es gibt in der Literatur die Schreibung „Pythagoräer“ wie „Pythagoreer“.

38 Es gibt zahlreiche geometrische Beweise des Satzes des *Pythagoras*, s. Aumann 62-67 und 69-79, darüber hinaus auch in China.

Thales von Milet (624-546)

der laut *Herodot* phönizischer Abstammung gewesen sein soll und von dem behauptet wird, dass sich mit ihm die uns bekannte griechische Mathematik von der ägyptischen und babylonischen Mathematik abzusetzen beginne. Er habe versucht, allgemeine Sätze anzugeben und zu begründen – darin liegt der Unterschied zu den ägyptischen und babylonischen "Vorschriften". Er hat vermutlich den Begriff des Winkels eingeführt – aber wohl noch keine Winkel gemessen. Er kannte eine Reihe von Lehrsätzen der Geometrie, am bekanntesten ist der nach ihm benannte Satz, dass jedes einem Halbkreis eingeschriebene Dreieck ein rechtwinkeliges sei – dieser Satz muss aber nicht von *Thales von Milet* stammen³⁹, er könnte älter sein. *Thales von Milet* soll mit Hilfe eines Schatten werfenden Stabes die *Höhe einer Pyramide in Ägypten gemessen* haben, wobei aber unklar, ist, ob dies mit Hilfe der Proportionslehre geschehen ist. Er wird u.a. auch als Begründer der Geometrie gesehen: er kennt den Kongruenzsatz⁴⁰. Fortsetzer war sein Schüler *Anaximander*.

Wesentliche Bedeutung hatte in der Frühzeit die Lehre von den Flächeninhalten und insbesondere von den Dreiecken, denen ja auch *Platon* besondere Bedeutung zumaß: bereits in Mesopotamien und in Indien gab es die Anleitung, Vielecke in Dreiecke zu zerlegen und diese in Rechtecke, diese wiederum in Quadrate umzuwandeln und diese zu addieren. Ein anderer Weg war, alles in Rechtecke mit einer gleichen Seite zu verwandeln. Es kommt ab dem 5. Jh zu einer hoch entwickelten **Kunst des Konstruierens**⁴¹. Es ist zwar zweifellos schon in vorgriechischer Zeit konstruiert worden, aber es gibt keinen Hinweis, dass derartige Konstruktionen zum Gegenstand einer Theorie gemacht worden wären, wie dies bei den Griechen war und insbesondere bei *Euklid* eingehend dargestellt worden ist. Es wird nun geradezu zu einer Bedingung, dass mathematische Probleme auch geometrisch, mit Zirkel und Lineal, lösbar sein müssen; erst *Diophant* wird sich davon lösen. Früh werden die inkommensurablen Größen als solche erkannt – vermutlich anhand des Fünfecks und der Diagonale des Quadrats.

Einen Höhepunkt stellt natürlich die Entwicklung der Lehre von den Kegelschnitten dar, die bei *Euklid* (4 Bücher) voll ausgeformt ist und von *Apollonios von Perge* vervollständigt worden ist – *Euklid* handelte nur vom geraden Kreiskegel als (endlichen) Körper, *Apollonios von Perge* auch von schiefen

39 Die Zuschreibung erfolgt nämlich erst zur Zeit Neros durch eine ansonsten unbekannte Schriftstellerin, und die sprachliche Fassung läßt auch andere Interpretationen zu – für die Gewinnung dieses Satzes ist ja nicht mehr notwendig als die Erkenntnis, daß sich jedem Rechteck ein Kreis umschreiben läßt, dessen Mittelpunkt der Schnittpunkt der Diagonalen ist, die ihrerseits natürlich Halbmesser des Kreises sind.

40 Wenn in einem Dreieck eine Seite und zwei Winkel gegeben sind, sind die anderen Seiten eindeutig bestimmt.

41 Arthur Donald Steele, Über die Rolle von Zirkel und Lineal in der griechischen Mathematik. Teil II und Teil III. In: Zur Geschichte der griechischen Mathematik, hg. von Oskar Becker, Darmstadt 1965, 146-202, behandelt das Thema des geometrischen Konstruierens ausschließlich in abstrakter, konstruktionstheoretischer Hinsicht. Teil I einsehen: Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik. Abteilung B: Studien 3(1934) 313-369 (Seitenangaben für Teile II und III) !!! Wie sind die Probleme rein praktisch bewältigt worden?

Kreis Kegeln, wobei er eine (unendliche) Kegelfläche definiert und auch die Namen Parabel, Hyperbel und Ellipse einführt – *Archimedes* spricht von der Ellipse noch als „spitzwinkeligem Kreis“.

Im 5. Jh kommen einige Konstruktionsaufgaben auf, die besonderes Interesse beanspruchen. Drei dieser Probleme der Geometrie haben überzeitliche Berühmtheit erlangt und sind immer wieder von den Griechen bzw. bis in die Neuzeit zu lösen versucht worden⁴²:

- Dreiteilung des Winkels – wurde durch mehrere Konstruktionsverfahren geleistet, und zwar durch Hippias von Elis im 5. Jh durch die transzendente Kurve Quadratrix. Als transzendente Kurven werden jene Kurven bezeichnet, die nicht durch eine algebraische Gleichung beschrieben werden können – wie z.B. die Zykloide. Unklar erscheint allerdings, wie Hippias von Elis diese Kurve konstruiert haben soll, die von konstanter Winkelgeschwindigkeit abhängig ist. – Eine nicht unähnliche, aber beeindruckend einfache Lösung dieses Problems im Wege der Papierfaltung findet sich bei Aumann 196, ohne dass jedoch angegeben würde, wann diese Methode entwickelt worden ist. –
- das berühmte „Delische Problem“ der Verdoppelung des Würfels (die Konstruktion eines Würfels vom doppelten Rauminhalt eines vorgegebenen) wurde von Archytas von Tarent und auch Hippias von Elis ebenfalls mit Hilfe der Quadratrix geometrisch gelöst..
- Quadratur des Kreises – ein wegen der Irrationalität von π grundsätzlich unlösbares Problem.

Die Bewältigung dieser Fragen war mit den von *Euklid* akzeptierten Konstruktionshilfsmitteln – unmarkiertes Lineal mit nur einer geraden Seite und Zirkel – nicht zu bewältigen (das wurde allerdings erst im 19. Jh bewiesen!). Es müssen entweder Kegelschnitte, kinematisch (durch gleichförmige Bewegung oder Drehung von Strecken) erzeugte Kurven zugelassen werden oder zumindest ein markiertes Lineal (Einschiebelineal⁴⁴). Die Versuche, diese drei Konstruktionsprobleme zu lösen, führten auch zu interessanten Ergebnissen in anderen Bereichen.

Gerade die Beschäftigung mit der **Problematik des Kreises** hat sich für die weitere Entwicklung als höchst fruchtbar erwiesen: die Halbierung, die Vierteilung, die Sechsteilung des Kreises mit 180, 90 und 60 Grad war schon im Alten Orient bekannt, und Euklid hat sie noch besser gefasst, sodass *Archimedes* mit Hilfe eines 96-Ecks das Verhältnis zwischen Umfang und Durchmesser eines Kreises – die Zahl π – als zwischen $3 \frac{1}{7}$ und $3 \frac{10}{71}$ liegend erkannte.

Die Griechen haben bereits die Einteilung des Kreises in 6×60 Grade zu je $60'$ zu je $60''$ aus dem Orient übernommen (wann sich diese Teilung einbürgerte, ist nicht ganz klar⁴⁵) und auf dieser Grundlage Sehnentafeln angelegt für die regelmäßigen 3, 4, 5, und 10-Ecke, wobei die Sehnen in

42 Noch 1775 schien es der Academie Royale des Sciences in Paris notwendig, zu beschließen, zu diesen Problemen eingesandte Papiere ebenso wenig zu prüfen wie solche, die die Entdeckung eines Perpetuum mobile behaupteten.

44 Zum Einschiebelineal vgl. *PDF-Uni-Giessen*

45 Die bei uns übliche Terminologie ist lateinischen Ursprungs: Grad = *gradus*, Schritt; Minute = *pars minutae prima* = erste Teilung; Sekunde = *pars minutae secunda*

Radien ausgedrückt wurden, was mittels des Satzes des *Pythagoras* möglich war. *Ptolemaios* (2. Jh nChr) hat dann die Sehnen aller Bogen von 0-180 Grad von 30' zu 30' fortschreitend bis auf vier Dezimalstellen ausgerechnet und so ein Tafelwerk geschaffen, das durch Jahrhunderte hindurch die späteren trigonometrischen Tafeln bis zu einem gewissen Grad vorwegnahm – erst *Johann von Gmunden* wird endgültig von den Sehnen abgehen und zu dem möglicherweise noch im späten Alexandria, vielleicht aber erst von den Indern entwickelten und durch die Araber propagierten System der halben Sehnen = Sinus übergehen.

Die Einteilung nach Graden ist durch Abschlagen des Radius auf 60 Grad und dann durch stetes Teilen auf 15 Grad, dann durch Drittelung auf 5 und schließlich durch weitere Teilung auf 1 Grad durchgeführt worden, was natürlich reichlich unpräzise war; die erste exakte Teilungsmethode mit Hilfe einer Schraube hat Robert *Hooke* vorgeführt, vermutlich hat aber auch schon *Jost Bürgi* eine derartige Methode entwickelt. – Die Teilung auf 360 Grad war übrigens nicht die einzige; es gab auch Teilungen auf 365 Grad, den Tagen des Jahres entsprechend; 1570 ist noch für Kremsmünster ein Elfenbeinkreis in 384 Teile geteilt worden, im 19. Jh kommt dann die Dezimalteilung des Viertels in Neugrad (4 x 100 Neugrad) auf, die in verschiedenen Vermessungsdiensten und im technischen Bereich übernommen worden ist. – Die Mongolen teilten sogar in 365 1/4 Teile.

Auch die Kugel als idealer und einfachster Körper hat die Griechen schon sehr beschäftigt; *Euklid* hat die Begriffe Horizont und Meridian eingeführt, andere Mathematiker haben weitergearbeitet, bis *Ptolemaios* neben der ebenen Trigonometrie auch die sphärische Trigonometrie in Angriff nahm. Beides haben die Araber weiterentwickelt, die die uns selbstverständlichen Winkelfunktionen Sinus, Cosinus, Tangens und Cotangens einführen. Vieles davon ist nun freilich im Rezeptionsprozess verloren gegangen und musste erst im Verlaufe des Spätmittelalters wieder neu erarbeitet werden.

Platon (427-347)

hat die Mathematik lediglich als rein abstrakte Wissenschaft im Sinne etwa der Pythagoräer akzeptiert⁴⁶. Aber gerade dadurch hat er wesentlich dazu beigetragen, die Sätze auf Vordersätze zurückzuführen, bis man schließlich auf Axiome und Definitionen als den eigentlichen Grundlagen gelangte. Insgesamt hat man ihm schon in der Antike eine wesentliche Stimulierung der Mathematik nachgerühmt. Tatsächlich haben einige seiner Schüler wesentlich am Ausbau der Mathematik mitgewirkt (s.u.).

46 Obgleich er sich selbst am delischen Problem versucht hat; er begründete die Forderung der Götter nach einem genau doppelt so voluminösen Altarwürfel nicht mit dem Bedürfnis nach Größe, sondern mit dem Umstand, dass die Götter die Athener zu intensiverer Auseinandersetzung mit der Geometrie verpflichten wollten.

Mit der Begründung des Museions in Alexandria wird dieses zentraler Ort auch der Mathematik. Auch *Archimedes*, der in Syrakus beheimatet ist und zumeist dort gelebt hat, stand offenbar in stetem Kontakt mit Alexandria.

2.2.1 Die führenden griechischen Mathematiker

Hippokrates von Chios (fl. 440)

Über ihn sind wir bereits etwas besser unterrichtet. *Hippokrates von Chios* ist vor allem bekannt geblieben durch die Quadratur der nach ihm benannten Mönchchen, die Lunulae Hippokratis, die er im Zusammenhang mit dem Versuch der Quadratur des Kreises entwickelt hat und deren Argumentation Einblick gibt in das von ihm und von anderen griechischen Mathematikern geübte Vorgehen. *Hippokrates von Chios* hat auch Mönchchen anderer Flächen quadriert. In diesem Zusammenhang begründete er die strengere mathematische Beweisführung und hat offenbar in Zusammenfassung seiner reichen und vielfältigen Betätigung das erste bedeutende mathematische Elementarlehrbuch geschrieben, von dem glaubhaft erschlossen werden kann, dass es in etwa das beinhaltet, was die ersten vier Bücher der Elemente des *Euklid* ausmacht. Auf ihn wird auch die Verwendung von Buchstaben zur Bezeichnung geometrischer Elemente zurückgeführt, wie sie bei *Euklid* selbstverständlich ist.

Hippias von Elis (fl. 400)

Seine heute verlorenen Arbeiten sollen – den Zeugnissen bei *Apollonios von Perge*, *Diogenes Laertios* und anderen zufolge – längere Zeit verfügbar gewesen sein. Allgemein wird angenommen, dass er die Quadratrix entwickelt habe – ob er sie so benannt hat, ist ungewiss. Diese (erste) kinematische Kurve wurde für die Dreiteilung des Winkels (eines der Delischen Probleme) benützt.

Archytas von Tarent (428–347)

Archytas befasste sich mit dem arithmetischen Mittel, dem Goldenen Schnitt, aber auch mit der Theorie des Schalls (den er auf Bewegung in der Luft zurückführte), des Klanges und der Harmonielehre. Seine größte Leistung war die Lösung des Delischen Problems der Verdoppelung des Würfels auf dem Wege einer genialen dreidimensionalen geometrischen *Konstruktion* (der ersten dieser Art, die bekannt ist) auf

Grundlage von Ansätzen des *Hippokrates von Chios*. Darüber hinaus war er auch in der Mechanik tätig; es ist ihm die Konstruktion einer hölzernen Taube nachgesagt worden, die habe fliegen können⁴⁷.

Eudoxos von Knidos (408-355)

ein Schüler des *Archytas* von Tarent, aber auch *Platons*, begründete die Lehre von den Proportionen ($8:12 = 12:18$) und damit auch die Lehre vom Goldenen Schnitt, die uns hauptsächlich aus *Euklid* bekannt sind (wobei das davon wesentlich handelnde 5. Buch der *Elementa* vermutlich ohnedies *Eudoxos* zuzuschreiben ist), die für die *Konstruktion des Fünfecks* herangezogen wurde sowie die außerordentlich wichtige und fruchtbare *Exhaustionsmethode* zur annähernden Bestimmung des Inhaltes von Flächen⁴⁸, die durch *Kurven* begrenzt sind, und von Körpern, die von gekrümmten oder *geneigten Flächen* begrenzt sind. *Eudoxos* hat damit zwei ganz außerordentlich wichtige Bereiche begründet: die Proportionslehre ermöglichte die Behandlung mathematischer Probleme in abstrakter Weise Abhängigkeit von konkreten Messungen, und die Exhaustionsmethode ermöglichte die annäherungsweise Lösung zahlreicher Probleme und wies damit auch den Weg zur Infinitesimalrechnung, indem sie zu einem unteren (Einschreibung) und einen oberen (Umschreibung) Wert führte. *Eudoxos* versuchte auch die konstruktive Dreiteilung des Winkels. *Eudoxos* war aber auch Astronom (s.w.u.) und entwarf offenbar als erster ein konkretes Sphärenmodell des Universums.

Menaichmos (375-325)

Menaichmos war ebenfalls ein Schüler *Platons*, begründete, ausgehend vom delischen Problem, die Lehre von den Kegelschnitten, allerdings ohne Auswertung resp. Anwendung. Fortgeführt wurde diese Problematik von *Aristaeos* (um 320), der das erste Werk über Kegelschnitte verfasst haben soll.

Euklid (325 – 265)

in Alexandria⁴⁹, er war möglicherweise ein Mitglied der Akademie und wurde von Ptolemaios I. an das Museion berufen, wo eine leitende Stellung eingenommen hat. *Euklid* ist einer der berühmtesten Mathematiker überhaupt. Er praktiziert – von Axiomen ausgehend, also deduzierend – in nahezu vollendeter Weise das mathematische Beweisverfahren. Sein bedeutendstes Werk sind die

47 Derartige Legenden sind hervorragenden Geistern bis in die Frühe Neuzeit beigegeben worden (*Roger Bacon, Regiomontan* u.a.). Es ist sogar versucht worden, eine Rekonstruktion vorzunehmen, die von der Verwendung von Preßluft ausging. *Archytas* gilt auch als Erfinder der Kinderratsche und des Flaschenzuges bereits vor *Archimedes*.

48 Diese Methode ist dann von Archimedes erweitert worden und ist eine der Grundlagen für die Infinitesimalrechnung.

49 Bezüglich der Lebensdaten *Euklids* finden sich auch in seriösen Quellen sehr unterschiedliche Angaben; *hier* nach. – Der Mathematiker *Euklid* ist nicht zu verwechseln mit *Euklid* von Megara, der ein Schüler des *Sokrates* war und auch in *Platons* Dialogen auftritt.

- Stoicheia = 13 Bücher "Elemente der Geometrie": ein Klassiker der Weltgeschichte, entstanden vermutlich um 325 vChr (hier eine Auflistung der wesentlichen Inhalte).

Euklids Werk baut auf Axiomen, Postulaten und Definitionen auf, ist äußerst knapp (praktisch kein nicht mathematischer Text); die einzelnen Büchern sind jeweils in Lehrsatz, Erläuterung und Zeichnung, Beweis und Schlusssatz "Was zu beweisen war" – quod erat demonstrandum – gegliedert. Euklid fasst die Kenntnisse seiner Vorgänger zusammen und erweitert sie durch eigene Forschung (einige der Bücher sind klar auf Vorgänger zurückführbar).

Der Inhalt ist gegliedert in:

Die planimetrischen Bücher = Buch 1-6

- 1. und 2. Buch: Dreiecke und Parallelogramme bis zum Beweis des pythagoreischen Lehrsatzes. Anwendung des Pythagoras, Zeichnen von flächengleichen Quadraten für alle geradlinigen Flächen,
- 3. Buch: Kreislehre Euklid gibt als erster die Definition der Tangente (die aber erst im 17. Jh als eine Sonderform der Sekante aufgefasst wird),.
- 4. Buch: ein- und umgeschriebene Vielecke, Konstruktion des Fünfecks mit Hilfe des Goldenen Schnitts,
- 5. und 6. Buch: Proportionenlehre und entsprechende Aufgaben (das 5. Buch stammt möglicherweise von Eudoxos)

Die arithmetischen Bücher = Buch 7-10

- 7.-9. Buch: Zahlenlehre, darin der Nachweis, dass es unendlich viele Primzahlen gebe,
- 10. Buch (stammt vermutlich von Theaitetos): dieses befasst sich mit den Inkommensurabilitäten, d.h. mit dem im Gegensatz zu dem genau Messbaren in der Einheit nicht Messbaren (z.B. die Diagonale des Quadrats, $\sqrt{2}$ u.ä.), aber auch mit geometrische Reihen

Die stereometrischen Bücher = Buch 11-13

- 11. Buch: Pyramide, Kegel, Zylinder, Kugel (die Rotationskörper entstehen durch eine Drehung von Rechteck, Dreieck, Halbkreis),
- 12. Buch (stammt vermutlich von Eudoxos): Volumina von Körpern
- 13. Buch: Polyeder, die sich aus regelmäßigen Vielecken bilden lassen.

Ein 14. Buch, das von der Kugel handelt, ist eine Fälschung vermutlich des Hypsikles Der Astronom Hypsikles von Alexandria ("Anaphorikos", 170 vChr) war neben Hipparch von Nikaia (190-120) maßgeblich an der Einteilung des Kreises in 360° in der Geometrie und Astronomie, in Geographie und Geodäsie beteiligt. im 2. Jh vChr, ein 15. Buch über andere Körper wurde im 6. Jh durch Isidor von Milet Isidor von Milet war unter Kaiser Justinian I. (527-565) Baumeister und Berater des Kaisers;

hatte offenbar als „zweiter Mechaniker“ die Bauleitung beim Neubau der 532 im Nika-Aufstand zerstörten Sophienkirche (Hagia Sophia) in Konstantinopel (532-537). hinzugefügt.

Die Elementa enthalten auch Aussagen über die Proportionen und Ähnlichkeit von Figuren sowie zur Zahlentheorie, darunter den klassischen Beweis, dass es keine größte Primzahl geben kann⁵³.

Euklid hat seine Geometrie auf 23 *Definitionen* und jeweils fünf *Axiomen und Postulaten* aufgebaut, auch den einzelnen Büchern gehen Vorbemerkungen voran.

Die Axiome sind:

- 1 Was demselben gleich ist, ist auch untereinander gleich.
- 2 Wenn Gleichem Gleiches hinzugefügt wird, sind die Summen gleich.
- 3 Wenn von Gleichem Gleiches weggenommen wird, sind die Reste gleich.
- 4 Was zueinander kongruent ist, ist einander gleich (ist eigentlich ein Postulat!).
- 5 Der Teil ist kleiner als das Ganze.

Die Postulate lauten:

- 1 Durch zwei beliebige Punkte lässt sich eine Linie ziehen.
- 2 Eine gerade Linie lässt sich unbegrenzt verlängern.
- 3 Um jeden beliebigen Punkt lassen sich Kreise mit beliebigem Radius zeichnen.
- 4 Alle rechten Winkel sind einander gleich.
- 5 Zwei in einer Ebene liegende gerade Linien, die von einer dritten geschnitten werden, schneiden sich bei Verlängerung ins Unendliche auf der Seite, auf der die inneren Schnittwinkel mit der dritten Linie zusammen kleiner als zwei rechte Winkel sind.

Dieses fünfte Postulat ist bereits in der Antike hinsichtlich seiner Formulierung und mehr noch hinsichtlich seiner Notwendigkeit diskutiert worden. Wenn nämlich das Parallelenaxiom nicht aus den ersten vier Axiomen (d.h. aus den Axiomen der absoluten Geometrie) ableitbar ist, so müssen ebendiese Axiome zusammen mit der Verneinung des Parallelenaxioms ebenfalls ein widerspruchsfreies Axiomensystem bilden. Ergibt sich ein Widerspruch, so ist das Parallelenaxiom aus den Axiomen der absoluten Geometrie ableitbar, ansonsten ist es tatsächlich ein Axiom, das nicht bewiesen werden muss. Diese Frage blieb als „Parallelenproblem“ mehr als 2000 Jahre lang ungelöst und es befassten sich zahlreiche führende Mathematiker der Antike, des Mittelalters und der Neuzeit damit. Erst Carl Friedrich Gauss, der sich ab 1792 mit dieser Frage beschäftigte, erkannte um 1815, dass eine das Parallelenaxiom negierende nichteuklidische Geometrie, eine sogenannte hyperbolische Geometrie möglich sei, publizierte aber nichts dazu. 1826 stellte Nikolaj Iwanowitsch Lobatschewski unter Eliminierung des Parallelenpostulats seine neue, nichtEuklidischen Geometrie

⁵³ Man multipliziere die gedachte größte Primzahl mit allen vorangehenden Zahlen und zähle 1 hinzu. Es wird bei jeder Teilung ein Rest von 1 bleiben, d.h. die neue Zahl ist eine Primzahl.

vor (in der aber alle anderen Postulate Euklids gültig sind), 1831 trat ihm János Bolyai zur Seite, doch wurden beide lange nicht wirklich beachtet. Das resultierende Lobatschewskische Parallelenaxiom lautet: „Es existiert eine Gerade g und ein nicht auf g liegender Punkt P , durch den mindestens zwei Geraden laufen, die g nicht schneiden“ (alle anderen Axiome des Euklid bleiben unverändert in Geltung). Eine weitere Verbreitung haben diese neuen Aspekte der Geometrie erst durch Eugenio Beltrami, Felix Klein und Henri Poincare zu Ende des 19. Jhs erfahren. Dies bedeutete aber nicht eine Widerlegung der Euklidischen Geometrie, sondern nur ihre Einordnung in einen noch größeren Zusammenhang.

- Arbeit über die Kegelschnitte, ist verloren, sie ist uns nur mittelbar überliefert, wenn es stimmt, was Pappos erklärt, dass sie nämlich von Apollonios von Perge als Grundlage seiner Arbeit herangezogen wurde.
- Porisma, verloren, es gibt nur bei Pappos in sehr unklarer Weise Nachricht darüber („Ein Porisma ist das, was an der Voraussetzung für einen Satz über einen Ort fehlt“), lediglich aus den Hilfssätzen für die Porismen wird man klug, ihnen zufolge müsste es sich um ein bedeutendes Werk gehandelt haben
- Mathematische Optik: zwei Bücher Optik und Katoptrik Die Optik zerfällt systematisch in eine geometrische Optik = Dioptrik (Lichtbrechung mit Theorie des Fernrohrs und des Mikroskops) und Katoptrik (Spiegelungen) sowie in eine physikalische Optik (Interferenz, Beugung, Polarisation, Fluoreszenz etc.), die praktische Optik befaßt sich mit den Linsensystemen etc.. Der erste Versuch, die Vorstellung von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und vom Reflexionsgesetz auf die Erklärung scheinbarer Größen, Spiegelungen etc. anzuwenden. Theorie der planen, konvexen und konkaven Spiegel, Lichtbrechung im Wasser. Euklid zählt 8 Axiome der Optik Z.B., daß die von den Strahlen eingeschlossene Figur ein Kegel ist, dessen Spitze im Auge liegt und dessen Basis die Umgrenzung des Gesichtsfeldes bildet. und 7 der Katoptrik auf (aus letzteren bildet er etwa 30 Theoreme). Die Optik dürfte etwas verballhornt überliefert sein, sie ist inhaltlich aber erst durch Kepler vermehrt worden Einschlägige Erkenntnisse des Francesco Maurolico schon vor Kepler sind allerdings erst im 19. Jh wahrgenommen worden., bis auf ihn war sie in der Euklidischen Fassung gültig, also fast durch 2000 Jahre hindurch!
- Phainomena, eine astronomische Schrift, enthält die Sphärik, die Lehrsätze bezüglich der Kugel. Weitere Werke, wie die Pseudaria (falsche Rückschlüsse), Kanoneinteilung, Data und andere sind verloren und nur mittelbar bezeugt.

Das alles überragende Werk sind die Elemente der Geometrie – *Euklid* ist in der Antike vielfach ohne Namensnennung nur als der „Elementenschreiber“ bezeichnet worden. Natürlich ist nicht in allen Bereichen geklärt, inwieweit das Werk originär, also *Euklids* unmittelbar persönliche Leistung ist und inwieweit es Übernahme und Zusammenfassung von bereits Bekanntem ist. Das kann aber

nichts an seiner überragenden Bedeutung ändern. Das 5. Buch wird *Eudoxos* zugeschrieben. Auch die stereotype Gestaltung mit dem berühmten Satzsatz (in der lateinischen Fassung „*quod erat demonstrandum*“) dürfte auf altägyptische Vorbilder zurückgehen – schon im Papyrus *Rhind* finden sich ähnliche Formulierungen.

Die erste Ausgabe der *Elementa*, die bis in das 19. Jh maßgebend war, besorgte *Theon von Alexandria* (Vater der *Hypatia*, 2. H. 4. Jh n.) – erst 1808 wurde durch *Peyrard* eine Handschrift gefunden, die eine vor-theonische Fassung der *Elementa* enthielt. Nach *Theon von Alexandria* entstanden mehrere arabische Übersetzungen. *Adelard von Bath* fertigte zwischen 1116 und 1142 mehrere Fassungen an, die teils zusammenfassende Übersetzung aus dem Arabischen ins Lateinische waren und von *Campano de Novara* 1259 als Grundlage der langhin als Standardtext dienenden Fassung und der 1482 in Venedig gedruckten *editio princeps* herangezogen wurden; es folgten 1505 eine Übersetzung ins Lateinische durch *Zamberti*, 1533 die Edition des griechischen Textes durch *Grynaeus* in Basel, 1572 eine weitere lateinische Übersetzung durch *Commandino*; allein im 16. Jh erscheinen 110 *Euklid*-Ausgaben⁵⁷ ! Die heute älteste *Euklid*-Handschrift stammt aus dem Jahr 888 und wurde in Zusammenhang mit der Tätigkeit von *Leon d. Mathematiker* in Byzanz geschrieben (s.w.o.), sie liegt heute in Oxford.

Archimedes von Syrakus als Mathematiker (287-212)

Archimedes, neben *Euklid* der wohl größte Mathematiker des Altertums, hat wahrscheinlich in Alexandria studiert, mit dessen Gelehrten er in Verbindung blieb, und war vermutlich mit Hieron II., König von Syrakus, verwandt und als Mathematiker, Physiker und Ingenieur tätig. Von ihm ist eine Reihe seiner rein sachlich-exakten monographischen Arbeiten überliefert, die er auch an Mathematiker in Alexandria sandte. Wichtige Handschriften archimedischer Texte müssen um 1000 noch vorhanden gewesen sein und sind von muslimischen Autoren benutzt worden.

Die wichtigsten Arbeiten sind:

- Methodenlehre (Pros Eratosthenon ephodos); dieses Werk wurde erst 1906 vom dänischen Mathematikhistoriker Johan Ludwig Heiberg in einem Palimpsest aus dem 10. Jh in Istanbul

⁵⁷ Die wichtigsten sind: 1460er Jahre Vorarbeiten durch Regiomontan; 1482 Ausgabe durch *Ratdolt*: lateinische Bearbeitung des arabischen Textes; 1501 partieller Druck (zusammen mit anderen wichtigen griechischen mathematischen Werken) durch *Giorgio Valla* in Venedig; 1505; vollständiger lateinischer *Euklid* aus dem Griechischen durch *Zamberti*; 1533 vollständiger griechischer *Euklid* durch *Grynaeus* in Basel herausgegeben, inklusive *Proklos*-Kommentar, was die Diskussion des Parallelen-Postulats eröffnet haben dürfte; in diesem Zusammenhang ist aber auch der Kommentar von *Nasir al-Din al-Tusi* wichtig, der zwar erst 1594 in Rom auf Arabisch gedruckt wurde, aber doch schon früher bekannt gewesen zu sein scheint; 1541/45 *Euklid*-Ausgabe des *Ramus* - auf 150 Jahre hinaus in Verwendung; 1547ff. Arbeit am *Euklid* durch *Francesco Maurolico*, der als Mathematiker an die Arbeit herangeht, erst 1670 gedruckt; von *Maurolico* stammt eine Reihe eigenständiger Arbeiten zur Geometrie. *Euklid*-Ausgabe durch *Federigo Commandino* (1509-1575), der auch *Archimedes*, *Apollonios von Perge*, *Ptolemaios*, *Aristarch von Samos*, *Heron von Alexandria* und *Pappos* herausgibt; 1574 große *Euklid*-Ausgabe durch *Clavius*, den Lehrer *Guldins*, der mit *Maurolico* befreundet war und zusammengearbeitet hatte.

entdeckt und ist – in Gestalt eines Briefes an Eratosthenes in Alexandria – im Unterschied zu den anderen, höchst knappen Arbeiten eine Darstellung der Zielsetzungen und Vorgehensweisen durch Archimedes selbst. Er erörtert darin auch die Ermittlung der Fläche eines Parabelsegments und entwickelt dabei die Vorstellung von den Indivisibilen (s.w.u.), wie sie erst im 17. Jh durch Kepler und Cavalieri wieder entdeckt werden sollte, wenn er im Sinne der Exhaustionsmethode Körper aus der Summe ihrer Schnittflächen zusammensetzt und damit das Problem des Unendlichen anschneidet, wie es für die Infinitesimalrechnung unumgänglich ist; er hat dabei auf Vorarbeiten des Euklid aufgebaut, der seinerseits auf Eudoxos zurückgriff.

Die Handschrift war nach einer ersten Bearbeitung durch Heiberg, der etwa 80 % lesen konnte, wieder verschollen und ist erst 1991 wieder aufgetaucht und 1998 um zwei Millionen Dollar von einem anonymen Käufer ersteigert worden. 1998 wurde die Entzifferung der Handschrift unter enormem technischen Aufwand in Angriff genommen; erst 2005/06 sind am Synchrotron in Stanford mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse neue Teile sichtbar gemacht worden, indem man auf die Reaktion der Eisenanteile in der Tinte zurückgriff. Die Handschrift enthält neben der Methodenlehre auch noch den bislang einzigen griechischen Text der Arbeit „Über schwimmende Körper“ des Archimedes. Die Handschrift kann nun hier betrachtet werden.

- Traktat über schwimmende Körper, diese Arbeit ist mehrfach überliefert (zum einzigen griechischen Text s.o.)
- Wahlsätze, lateinisch: Liber assumptorum, auch Lemmata, dieses kleine Werk wurde 1659 von Foster erstmals aus arabischen Quellen heraus veröffentlicht und enthält die Behandlung verschiedener mathematischer Probleme.
- Über die Kugel und Zylinder – Sehr wichtig die Arbeiten über die Kugel, deren Oberfläche Archimedes mit dem Vierfachen ihres größten Kreises angibt: $4r^2\pi$. Er fand außerdem die Beziehungen zwischen den Volumina ein- und umschriebener Körper, z.B. dass ein einer Kugel umschriebener Zylinder sich volumsmäßig zu dieser wie 3:2 verhalte – dies ist nicht nur auf seinem Grabmal, sondern auch auf Münzen der Stadt Syrakus dargestellt worden.
- Kreismessung, Bestimmung der Zahl π durch die Exhaustionsmethode (umschriebenes und eingeschriebenes Quadrat, Sechseck ... bis 96-Eck, was 3,1407 als unteren und 3,1429 als oberen Wert ergibt.
- Über Paraboloiden, Hyperboloiden und Ellipsoide – Archimedes untersuchte auch Kurven wie Kegelschnitte und versucht mit Methoden, die der Integralrechnung nahe kommen, deren Längen und Flächen zu berechnen – Seine diesbezüglichen Leistungen stellen den diesbezüglichen Höhepunkt bis zur Entwicklung der Infinitesimalrechnung, also für mehr als 1500 Jahre dar!
- Über Spiralen – Archimedes untersucht eingehend die Spirale, berechnet ihre Fläche. Er definiert die Spirale so: "Wenn sich ein Halbstrahl in einer Ebene um seinen Endpunkt mit gleichförmiger

Geschwindigkeit dreht, nach einer beliebigen Zahl von Drehungen wieder in die Anfangslage zurückkehrt und sich auf dem Halbstrahl ein Punkt mit gleichförmiger Geschwindigkeit vom Endpunkt des Halbstrahls beginnend, bewegt, so beschreibt dieser Punkt eine Spirale". Er schafft sogar die Quadratur der Spirale! Weiters befasst er sich mit der Berechnung der Länge von Kurven und der Oberfläche gekrümmter Körper – was den intensiven Umgang mit Grenzwerten erforderte, die natürlich nicht als solche aufgefasst und behandelt wurden.

- Über das Gleichgewicht ebener Flächen oder über den Schwerpunkt ebener Flächen
- Die Quadratur der Parabel – Archimedes hat auch die Quadratur der Ellipse gefunden, mit der Hyperbel hat er sich weit weniger befasst.
- Die Sandzahl – Archimedes hat auch in der Arithmetik Bedeutendes geleistet. In seiner Arbeit "Sandrechnung" ist er der Frage nachgegangen, wie viele Sandkörner 10.000 Sandkörner füllen das Volumen eines Mohnkorns (oder einer Mohnkapsel?). zur Füllung der Fixsternsphäre notwendig seien und gelangt zu dem Ergebnis 1063 Sandkörner. Er hat in diesem Zusammenhang mit Zahlen operiert, die bis dahin unvorstellbar waren, hat neue Zahlenklassen (im Sinne der Potenzrechnung) erkannt, daß man Exponentialzahlen multipliziert, indem man die Exponenten addiert!) geschaffen. Archimedes bezeichnete zu diesem Zweck die damals in der griechischen Mathematik höchste benannte Zahl 10⁸ als "Zahl erster Ordnung" mit einem eigenen Zahlzeichen (#) und führte dieses System fort, indem er # als Einheit der Zahlen zweiter Ordnung machte usw.; Archimedes schreitet fort zu Perioden, deren Einheit in unserer Schreibweise eine 1 mit 800 Millionen Nullen ist – es ist dies ein Verfahren, das erst mehr als 2000 Jahre später von Georg Cantor in der Mathematik der transfiniten Ordinalzahlen wieder angewendet wurde. „Die Idee, eine Zahl, also eine Vielheit, zur Einheit zu machen und damit genauso weiter zu zählen wie mit der Einheit selbst, war für das damalige Zahlenverständnis revolutionär. Von hier bis zur Erfindung des Dezimalsystems wäre es nur ein kleiner Schritt gewesen – jedoch, was fehlte, war die Zahl Null.“ Den Durchmesser der Fixsternsphäre nahm Archimedes mit etwa der Jupiterbahn an; als Ergebnis gibt er den Wert 1063 an. Die Zahl der Atome im heute beobachtbaren Universum wird mit in etwa 10⁷⁸ angenommen; s. auch (www-Quelle).

Archimedes vermochte kubische Gleichungen zu lösen und komplizierter Quadratwurzeln zu ziehen – was angesichts der trotz einiger Neuerungen immer noch sehr komplizierten Zahlenschreibweise ganz außerordentlich ist. Andere Schriften sind erschließbar: eine Untersuchung über Polygone, eine Schrift „Über die Prinzipien“, über Waage und Hebel, über den Schwerpunkt, zur Optik, über die Herstellung der Kugel.

Man geht heute davon aus, dass *Archimedes* bei vielen seiner Arbeiten sehr unkonventionell von mechanischen Experimenten ausgegangen sei, dann einen „mechanischen Beweis“ gesucht und gefunden und dann erst den strengen geometrischen Beweis erarbeitet habe. Seine Arbeiten sind ähnlich

denen des *Euklid* nach einem strengen Schema aufgebaut: Definitionen > Postulate > Voraussetzungen > Sätze mit Beweisen.

Auf des *Archimedes'* Leistungen als Physiker und als Ingenieur wird weiter unten eingegangen.

Eratosthenes von Kyrene (276/75 – ?)

Eratosthenes war primär als Astronom (s.w.u.), aber auch als Philologe in Alexandria bedeutend. Hier ist er in Bezug auf die Ermittlung von Primzahlen zu erwähnen, da er das nach ihm benannte „Sieb des *Eratosthenes*“ entwickelte, einen einfachen Algorithmus zur Eruierung von Primzahlen.

Apollonios von Perge (auch: von Alexandria) (260-200/190)

Sein Hauptwerk sind acht Bücher **Konika** (= von den Kegelschnitten), die Inhalte sind⁶¹:

Buch 1: Erzeugung der Kegelschnitte und deren Eigenschaften

Buch 2: Achsen, Durchmesser und Asymptoten

Buch 3: Kegelschnittsehnen, Pol und Polare, Brennpunkte von Ellipse und Hyperbel

Buch 4: Schnitte von Kegelschnitten

Buch 5: Theorie der Normalen

Buch 6: gleiche und ähnliche Kegelschnitte und Konstruktionen

Buch 7: spezielle Eigenschaften konjugierter Durchmesser

Buch 8: Konstruktionen zu konjugierten Durchmessern

Die Bücher 1-4 sind auf Griechisch und 5-7 auf Arabisch erhalten, das 8. Buch ist verloren. *Apollonios von Perge* hat für die Kegelschnitte in etwa das geleistet, was *Euklid* in den anderen Bereichen der Geometrie geleistet hatte – auf ihn gehen die heute gängigen Bezeichnungen Ellipse, Parabel und Hyperbel zurück⁶², die er definiert und deren Gleichungen er ebenso bestimmt hat wie ihre Tangenten. Bis auf Blaise *Pascal* (1623-1662) sind in der Lehre von den Kegelschnitten keiner Erweiterungen erarbeitet worden.. Die Kegelschnitte waren damals "reine Wissenschaft", da man ja nur Kreisbewegungen für möglich hielt. Erst *Kepler* hat dies mit der Entdeckung der ellipsenförmigen Planetenbahnen geändert.

Von *Apollonios von Perge* wissen wir, dass er eine Reihe weiterer Werke verfasst hat, die jedoch verloren bzw. teilweise rekonstruiert worden sind. *Apollonios von Perge* hat # bis in die 3. Dezimale richtig angegeben. Möglicherweise war er auch der Erfinder der Epizykeltheorie, deren Grundvorstellung allerdings vielleicht schon bei den Pythagoräern auftrat.

61 Nach Aumann 170.

62 Die Bezeichnungen *parabole* = das Daransetzen, *hyperbole* = das Übermaß und *elleipsis* = der Mangel beziehen sich auf die prinzipielle Elemente der Konstruktion, s. Aumann 170ff.

Mit *Apollonios von Perge* geht die große Zeit der originären griechischen Mathematiker zu Ende. Nur *Diophant* wird – Jahrhunderte später, als Nachzügler gleichsam – noch einmal die Originalität der Mathematiker des 3. Jhs erreichen. Es wird allerdings im Weiteren viel an der Verfeinerung und an Ausbau bereits bekannter Bereiche gearbeitet, vor allem Geometrie und Trigonometrie werden weiter ausgebaut und auch die mathematische Geographie und die Geodäsie – alle diese Bereiche sind auch für die Astronomie belangvoll und werden in gewisser Hinsicht durch *Klaudios Ptolemaios* in der Anwendung zur Perfektion gebracht.

Hipparchos von Nikaia (190-120), s. auch Astronomie!!

Hipparch gilt als Begründer der Trigonometrie, was uns allerdings nur von anderen überliefert wird, da seine diesbezüglichen Werke sämtlich verloren sind. Diese Arbeiten – vor allem eine erste Sehnentafel, vermutlich mit Schritten von $7,5 = 15/2$ Grad – entsprangen den Bedürfnissen der Astronomie. Das Verfahren wurde wohl unter pythagoreischem Einfluss abgeleitet von der bei einem Winkel von 60° in ihrer Länge dem Radius gleichen Sehne. Diese Arbeiten sind von *Menelaos* und *Ptolemaios* fortgeführt worden – des *Ptolemaios* Theorem ging von den Verhältnissen in einem unregelmäßigen, einem Kreis eingeschriebenen Viereck (inklusive Diagonalen) aus. Durch raffinierte Teilungsverfahren gelangte *Ptolemaios* mit großer Präzision zu ganz kleinen Winkeln, sodass beispielsweise sein Wert für 30 Minuten auf drei Dezimalstellen exakt ist. Es ist unklar, ob – wie vermutet worden ist – bereits in Alexandria der Übergang zum Sinus als halber Sehne (und damit der Gewinnung eines leichter handhabbaren rechtwinkligen Dreiecks) vollzogen worden ist, oder ob dies erst durch idnischen Mathematiker geschehen ist, von den die Araber diese Methode übernommen haben.

Heron von Alexandria (vermutlich 1. Jh nChr)

Er ist durch die nach ihm benannte Flächenformel des Dreiecks bis heute allgemein bekannt ($s(s-a)(s-b)(s-c)$), die aber wohl auch *Archimedes* schon gekannt hat – auch die nach ihm bezeichnete Methode des Quadratwurzelnziehens war Jahrhunderte früher schon in Babylon bekannt. *Heron von Alexandria* hat auch die Flächen andere Figuren und auch von Körpern berechnet. Er beschreibt in seiner „Vermessungskunst“ – lat. *Rationes dimetiendi* – auch Vermessungsinstrumente wie den Diopter (eine Vorform des Theodoliten und das Groma. Dazu und zu seinen technischen Arbeiten s.w.u.

Diophant aus Alexandria (vermutlich um 250 nChr)

ist gegenüber seinen Vorgängern durch den großen zeitlichen Abstand etwas isoliert. Er hat sich als erster Grieche eingehend und vornehmlich mit der Algebra befasst und gilt deshalb als „Vater der Algebra“; er ist der letzte bedeutende antike Mathematiker. Seine

– 13 Bücher Arithmetica, von denen nur 6 erhalten sind, stehen rangmäßig neben den Werken Euklids.

Diophant verwendete als erster durchgehend algebraische Symbole wie Minus- und Pluszeichen, sowie ein Gleichheitszeichen (ein #, *iota*, für *isoi*) und ein Zeichen für Unbekannte, nämlich # (*sigma*) als den einzigen griechischen Buchstaben, der keinen Zahlenwert hatte. *Diophant* schrieb auch Potenzen mit speziellen Abkürzungen⁶³. Er kümmerte sich nicht mehr um die geometrische Beherrschbarkeit der algebraischen Ausführungen, d.h. um möglichst knappe Formeln, die nach Möglichkeit auch geometrisch-graphisch zu lösen ein sollten. Dies bedeutete einen wesentlichen Schritt vorwärts. Eine wesentliche Begrenzung ist allerdings, dass *Diophant* keine negativen Zahlen kennt und natürlich noch mit den komplizierten griechischen Zahlen operiert.

Auf *Diophant* geht letztlich der Begriff Algebra zurück: "Wenn bei einem Problem gewisse Arten denselben Arten gleich sind, aber nicht gleichviel, so muß man auf beiden Seiten [der Gleichung] Gleichartiges von Gleichartigem wegnehmen, bis eine Art einer Art gleich ist. Wenn aber auf einer Seite oder auf beiden Seiten Subtrahenden stehen, so muss man auf beiden Seiten das Fehlenden zusetzen ...". Zusetzen = *prostheinaí* ist im Arabischen bei *al-Khwarizmi* mit *al-gabr* übersetzt worden.

Diophants Arithmetik ist kein durchkomponiertes Werk, sondern die Bearbeitung von konkreten Aufgaben. Der Hauptinhalt findet sich in der Einleitung, ansonsten sind seine Bücher – natürlich sehr interessante – Aufgabensammlung (189 Aufgaben). *Diophants* Algebra ist erst 1463 durch *Regiomontan* in einer Handschrift in Venedig entdeckt worden; 1575 ist eine lateinische Übersetzung erschienen, 1621 erfolgte die Herausgabe in griechischer Sprache, 1670 erschien eine von Pierre *Fermat* kommentierte und seinem Sohn Samuel *Fermat* publizierte Ausgabe. Pierre *Fermat* hat an *Diophant* seine eigenen Sätze erarbeitet (begann mit dem Problem, eine gegebene Quadratzahl in zwei Quadratzahlen zu teilen). Man pflegt die Geschichte der Algebra in drei Phasen zu gliedern:

- 1 rein verbale Abwicklung,
- 2 teilweise symbolische Abwicklung und
- 3 modernes Stadium,

Diophant eröffnet die zweite Phase. *Diophant* kennt die Regeln der Exponentialrechnung und entwickelt entsprechende Zeichen – z.B. auch für die 6. Potenz.

Ähnlich wie *Hipparch* wird auch er in gewisser Hinsicht als Vollender der babylonischen Mathematik bezeichnet ("the finest flowering of Babylonian algebra").

63 Nämlich jeweils den Anfangsbuchstaben für Quadrat und Würfel, für die sechste Potenz schrieb er zweimal Würfel („Kubokubus“).

Euklid und *Diophant* sind die beiden grundlegenden Autoren, auf denen die muslimische wie dann die christliche Mathematik primär aufbaut.

Pappos von Alexandria (um 300 nChr)

Er verfasste

- 8 Bücher "Synagoge", „Mathematische Sammlung“, Zusammenfassung, Sammlung von Material, in denen er die bisherigen Leistungen in der Mathematik und ihrer Anwendung auf Astronomie, Optik und Mechanik zusammenfasst – das Werk, dessen Buch 1 und dessen Buch 2 teilweise verloren sind, ist allein schon auf Grund der zahlreichen historischen Hinweise hochinteressant, es enthält wichtige Aussagen über ältere Werke, die uns oft verloren oder nur teilweise erhalten sind (möglicherweise ist das Werk überhaupt erst von einem Nachlaßverwalter nach Pappos' Tod zusammengestellt worden). Das 7. Buch enthält die im 17. Jh nach Guldin benannten Regeln, wonach das Volumen eines Rotationskörpers das Produkt aus der Fläche und dem Weg ihres Schwerpunkts ist. Das 8. Buch bringt Fragen der Schwerpunktlehre und der schiefen Ebene. Auch gibt Pappos ein Verfahren zur Dreiteilung des Winkels mit Hilfe der archimedischen Spirale an. Pappos ist auch einer der ersten Verfechter der Buchstabenrechnung, also des Rechnens mit allgemeinen Zahlen.

Nach *Diophant* von Alexandria und *Pappos* tritt in der Mathematik im Abendland für Jahrhunderte ein Stillstand bis zum Ausgang des 13. Jhs ein. Erwähnenswert sind noch

Theon von Alexandria (2. H. 4. Jh)

als Herausgeber des *Euklid*, dessen Bild er bis fast in die Gegenwart bestimmte; erst im 19. Jh wurde eine vor-theonische *Euklid*-Handschrift entdeckt. Er war der Vater der *Hypatia*, der einzigen bekannten bedeutenden Wissenschaftlerin des Altertums. *Theon von Alexandria* verfasste auch einen Kommentar zum *Almagest* des *Ptolemaios*, der im 9. Jh von den Arabern verwendet wurde, dann aber verloren ging.

Hypatia (gest. 415)

war die Tochter des Mathematikers *Theon von Alexandria* und Leiterin der Schule der Neuplatoniker in Alexandria. Als Heidin wurde sie von fanatisierten Christen ermordet (unter der Anschuldigung, den Stadtpräfekten gegen den Bischof aufgehetzt zu haben). Sie verfasste als wichtig zu erachtende Kommentare zu *Apollonios von Perge* und zu *Diophant* von Alexandria, die allerdings verloren sind.

Proklos Diadochos (410-485)

Hat in Alexandria und Athen studiert und wurde später Leiter der Akademie. Er schrieb wichtige Kommentare, im mathematischen Bereich vor allem zu *Euklid*. Der *Euklid*-Kommentar ist als historische Quelle von großer Bedeutung, da *Proklos* dort ein so genanntes "Mathematiker-Verzeichnis" überliefert, das möglicherweise teilweise auf *Eudemos* zurückgeht⁶⁴.

2.2.2 Mathematik in Rom

Bezüglich der Mathematik bei den Römern gibt es den bösen Satz, dass der einzige Beitrag zur Mathematik seitens der Römer darin bestanden habe, dass ein römischer Soldat *Archimedes* erschlagen habe – eine Szene, die bereits in Pompej und auch sonst sehr früh verschiedentlich *dargestellt* worden ist, was die tragische Bedeutung dieser Aussage unterstreicht. Selbst *Cicero* meinte: "*Die griechischen Mathematiker sind auf dem Gebiete der reinen Geometrie führend, während wir uns immer noch auf Rechnerei und Ausmessung beschränken*".

Tatsächlich waren die Römer lediglich an der praktischen Seite der Mathematik, an der Anwendung interessiert. Man bediente sich des Abakus, wie ihn ja auch die Griechen benützt haben – zumeist in Gestalt von Steinplatten mit Rillen, in denen man die Rechensteine verschob (einige Exemplare sind noch erhalten). Die Agrimensoren (nach ihrem Gerät auch Gromaticer genannt) haben vor allem zwei Messgeräte benützt:

- den Chrobates, ein Gerät zum Nivellieren, gleichsam eine große Wasserwaage mit Diopter. Dieses Gerät ist bei Vitruv beschrieben, es existieren kaum weitere Angaben., wie man sie für die Konstruktion von Aquädukten benötigte,
- die Groma, waagrecht gehaltenes Kreuz auf hoher Latte, mit hängenden Loten, über die visiert und damit die exakte Richtung gewonnen wird – aber schon um 530 v. legten die Griechen einen Tunnel durch einen Berg, der von beiden Seiten begonnen wurde, und trafen mit nur geringer Abweichung. Etwa ab 100 nChr gibt es berufsmäßige Agrimensoren, d.h. Geometer, und ihr Wissen ist im 3. Jh in einem **Corpus gromaticorum** zusammengefasst worden, das die Quelle für eine Handschrift aus dem 5./6. Jh war, die *Gerbert* um 983 im Kloster Bobbio studiert hat. Das Niveau der Agrimensoren war sehr niedrig, man begnügte sich mit elementaren Kenntnissen und oft groben Näherungen.

Marcus Terentius Varro 116-27, hat in seinem Werk „*De disciplinis*“ natürlich auch über Arithmetik und Geometrie gehandelt, es sind aber davon – wenn überhaupt die Vermutung zutrifft, dass die Fragmente aus seinem Werk stammen – nur Fragmente erhalten.

Neben *Marcus Terentius Varro* gibt es einige wenige andere Autoren, in deren Schriften partiell Euklid oder andere mathematische Schriften, mitunter mit Aufgaben, widergegeben werden.

64 Abgedruckt bei Gericke 250-251.

2.2.3 Der Übergang zum Mittelalter

Diesen Übergang markiert auch in der Mathematik

Anicius Manlius Severinus Boethius (ca. 480-524)

in der Umgebung des Ostgotenkönigs *Theoderich von Freiberg*. Von ihm stammt nicht nur die berühmte und viel gelesene Schrift "De consolatione philosophiae"⁶⁶, sondern auch eine Reihe von

- Übersetzungen griechischer mathematischer Werke, die in leicht fasslichen Zusammenfassungen in der Karolingerzeit und im Hochmittelalter, ja noch im Spätmittelalter für die Ausbildung im Quadrivium herangezogen worden sind.
- "De ratione abaci", über das Rechnen mit dem Abakus,
- "De minutis", über das Rechnen mit Brüchen.

Boethius hat eine der damaligen *communis opinio* konträre Anschauung vertreten, wenn er meinte, dass die Erkenntnis des Göttlichen für einen mathematisch völlig Ungebildeten unerreichbar sei. In den folgenden Jahrhunderten bis hin in das 12. Jh. ist einer derartigen Auffassung in weiteren Kreisen wenig Verständnis entgegengebracht worden.

Boethius entfaltete als letzter antiker stoischer Philosoph von Bedeutung große Wirkung auf die Scholastik.

2.3 Astronomie

In der Astronomie haben die Griechen anfangs relativ wenig geleistet⁶⁷. Sie hatten auffallende Schwierigkeiten mit dem Kalender, ja es gab überhaupt keinen einheitlichen Kalender; die Jahresanfänge waren bei den einzelnen Stämmen unterschiedlich. 12 Monate zu 30 Tagen, dann 13 Monate, was zu lang war, weshalb man jedes achte Jahr einen Monat ausließ. Unterteilung der Monate erfolgte in Dekaden zu 10 resp. 9 Tagen; *Solon* ließ dann jedes zweite Jahr einen Monat zulegen, was im Schnitt zu 369 Tagen führte und natürlich immer noch nicht hinreichend war, weshalb sich auch *Aristophanes* in den "Wolken" über den griechischen Kalender lustig machte, indem er Diana als Göttin des Mondes den Missstand beklagen lässt, dass man nicht mehr auf ihren Lauf achte. Erst 433/432 vChr schlugen *Meton* und *Euktemon* die Enneadekaeteride oder Periode von 19 Jahren vor; es ist dies ein Zyklus, der die Dauer des Jahres auf 365,242 Tage bringt; er galt dann bei den Griechen bis zur Einführung des römischen

66 Eines der meistgelesenen Werke des Mittelalters, von König *Alfred* dem Großen ins Angelsächsische und von *Notker Labeo* ins Althochdeutsche übertragen! Darin disputiert die in Frauengestalt erscheinende *Philosophia* mit *Boethius* über die Glückseligkeit und die Vorsehung, es sind 39 Gedichte in den Text eingestreut.

67 Eine zusammenfassende Darstellung gibt B[artel] L[eendert] van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen*. Eine Einführung, Darmstadt 1988. *van der Waerden* (1903-1996) war nach *Otto Neugebauer* eine der führenden Kapazitäten im Bereich der Geschichte der Mathematik und der Astronomie im Altertum.

Kalenders durch die Besatzungsmacht. 383 vChr ist dieser Zyklus auch im mesopotamischen Bereich übernommen worden. Unabhängig davon existierte ein derartiger Zyklus auch in China.

Die Griechen lieferten anfangs im Wesentlichen neue Überlegungen und Interpretationen auf der Grundlage bereits aus Mesopotamien und Ägypten bekannten Materials. So übernahm man offenbar aus Ägypten, mehr noch aber aus Mesopotamien die Datierungshilfen an Hand markanter Fixsternaufgänge, wie sie in dem wichtigen mesopotamischen Text „Mul Apin“ überliefert sind. In Hesiods „Werke und Tage“ findet sich ein ganz ähnliches, wohl übernommenes Schema als Grundlage für landwirtschaftlich relevante Zeitangaben. Später wurden astronomische Kalender in der Gestalt der Parapegmata entwickelt: Steinplatten mit eingravierten Fixsterndaten, Wetterzeichen etc. und Löchern für jeden Tag des Sonnenjahres, in die Zapfen für den Beginn der Mondmonate gesteckt wurden, an denen man sich orientierte – doch gab es diesbezüglich zahlreiche lokale Abweichungen, und auch das Feststellen des neuen Mondes konnte recht unterschiedlich ausfallen (es ist dies heute noch ein Problem im islamischen Kalender). Die Bemühungen um die Verfeinerung der Kalendertechnik gingen Hand in Hand mit der Entwicklung der Astronomie. Eine in diesem Zusammenhang wesentliche Person war *Euktemon* (s.w.o.), dessen Parapegma Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeit geworden ist.

Die ältesten uns bekannten kosmologischen Vorstellungen der Griechen ähneln jenen im Orient: eine flache Erdscheibe, darunter das Totenreich, darüber der Himmel.

Thales von Milet (um 600) u.a. betrachteten die Erde als auf dem Wasser schwimmende Scheibe; er hat die Finsternis des Jahres 585 vChr angegeben, sicherlich aber nur für das Jahr und das vermutlich nur eher vage, da ihm die konkreten Hilfsmittel für eine echte Prognose wohl nicht zur Verfügung gestanden haben. Wohl aber dürfte er eine richtige Erklärung des damals noch als unheimlich empfundenen Phänomens gegeben haben. Später wurde von einigen ihm, von *Diogenes Laertios* aber dem Samier *Phokos* ein Werk „Nautische Astronomie“ in 200 Versen zugeschrieben.

Anaximander (1. H. 6. Jh) betrachtet die Erde als einen Zylinder, der in der Mitte der Welt schwebt, die Gestirne sind ihm radförmige Verdichtungen von Luft, die mit Feuer gefüllt seien und an gewissen Öffnungen Flammen aushauchen (was wir als Sterne, aber auch von der Sonne sehen); er verwendet das Gnomon und stellt ein solches in Sparta auf, das auch die Solstitien und die Äquinoktien angezeigt haben soll), entdeckt die Schiefe der Ekliptik neu, anschließend an diese werden nachfolgend die (in Mesopotamien längst bekannten) *Tierkreiszeichen* benannt (diese Benennung zeigt erhebliche Übereinstimmungen zwischen Ägypten und Mesopotamien, die griechischen Bezeichnungen sind größtenteils Übersetzung aus dem babylonischen Bereich, z.B. Ziegenfisch > Ziegenhorn = Capricornus = Steinbock. *Anaximander* gibt auch die Entfernung der Sterne, der Planeten und der Sonne mit dem 27-, 18- und 9fachen des Durchmessers der Erde an.

Anaximenes (6. Jh) hält die Erde für eine in der Luft schwebende Scheibe, die Gestirne bewegen sich nicht unter der Erde hindurch, sondern um sie herum, „wie sich ein Filzhut auf dem Kopf dreht“, sie werden wie die Sonne nur zeitweise (wie die Sonne nächstens) von höheren Orten der Erde verdeckt. Genauer bekannt sind uns die Anschauungen von *Anaxagoras* von Klazomenai (5. Jh, Freund des *Perikles*), der erkannte, dass der Mond sein Licht von der Sonne erhält. Er warf die Frage auf, weshalb der Mond nicht auf die Erde falle, und verglich ihn mit einem Stein in einer Wurf Schleuder. Er entwickelt auch eine Vorstellung von der Entstehung des Kosmos aus dem Chaos und aus einer Fülle von Teilchen, die lediglich ihre Form wandeln, an sich aber zahlenmäßig unverändert bleiben. Den Kosmos betrachtete er als vom Geist in Bewegung gesetzt, die Erde als eine flache, hohle und innen feuchte Scheibe, die Gestirne als feurige Gesteinsmassen, die Sonne größer als die Peloponnes und die Kometen als eine Art in gefolge der Drehung abspringender Funken betrachtete⁶⁸. Diese Auffassung trug ihm einen Prozess und die Verurteilung wegen Gottlosigkeit ein, sodaß er ins Exil gehen mußte.

Einige griechischen Philosophen betrachten aber bald die Planeten und die Fixsterne nicht mehr unbedingt als göttliche Wesenheiten, sondern als feurige Kugeln, was ihnen den Vorwurf der Gottlosigkeit einbringt – *Platon*, der gegen *Anaxagoras* und andere polemisiert, erklärt aber doch noch, dass die Gestirne ihr göttliches Wesen in der Regelmäßigkeit ihrer Bewegung auf einer vollkommenen Kreisbahn offenbaren, wären sie unbeseelt und unvernünftig, so könnten sie sich niemals mit der mathematischen Präzision bewegen, die man leicht feststellen könne; allerdings präsentiert er in der märchenhaft gehaltenen „*Erzählung des Er*“ am Schluss des Dialoges „*Politeia*“ ein eher mechanisch wirkendes Weltmodell aus Planetensphären, für dessen „Funktionieren“ *van der Waerden* die Annahme der Epizykeltheorie voraussetzt, dazu **Abb.: Waerden 44-49**).

van der Waerden fasst *Platons* Bild vom Kosmos wie folgt zusammen⁶⁹:

1. Der Kosmos ist ein lebendes, beseeltes Wesen.
2. Der Kosmos ist ein geordnetes Ganzes, in dem jeder Teil seine Aufgabe zu erfüllen hat.
3. Dieses Ganze wird von mathematischen Gesetzen beherrscht.
4. Die Erde ist kugelförmig.
5. Sie schwebt frei in der Mitte [des Kosmos].
6. Der ganze Himmel dreht sich nach rechts [sic] um eine Achse, die durch die Erde hindurchgeht.
7. Die Sonne, der Mond und die Planeten drehen sich außerdem nach links [sic] in Kreisen, die zum Kreis der ersten, allen gemeinsamen Bewegung schief liegen (wie die Teile des Chi, aber von dieser Bewegung mitgenommen werden).
8. Sie haben verschiedene Entfernungen von der Erde.

68 S. van der Waerden, *Astronomie der Griechen* 28-30.

69 Bartel van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen. Eine Einführung*, Darmstadt 1988, 48.

9. Ihre Reihenfolge ist von der Erde aus: Mond, Sonne, Venus, Merkur, Jupiter, Saturn; dann kommen die Fixsterne.
10. Ihre Umlaufzeiten verhalten sich wie ganze Zahlen.
11. Es gibt ein gemeinsames Vielfaches aller Umlaufzeiten, das „große Jahr“, nach dessen Ablauf alle Planeten wieder genau an derselben Stelle stehen.
12. Jeder von ihnen erzeugt bei der Bewegung einen Ton, und diese Töne bilden eine Harmonie (d.h. eine wohlgeordnete Tonleiter).

Es haben diese Vorstellungen maßgeblich zur Entwicklung der Vorstellung von der Sphärenharmonie beigetragen und bis in das 17. Jh Einfluss ausgeübt (so bei *Kepler*). *Platons* Weltbild unterlag allerdings hinsichtlich der Planetenbewegung im Laufe seines Lebens verschiedentlichen Veränderungen.

Der Pythagoräer *Philolaos* (ca.440-400) erklärte, der Kosmos sei eine Kugel, in deren Zentrum sich das Zentralfeuer befinde (wie ein Herdfeuer im Zentrum des Hauses) und die außen vom Feuer des grenzenlosen Olymp umschlossen sei⁷⁰. Dieses Feuer sei jedoch unsichtbar, lediglich durch die Sonne – die in Wirklichkeit ein dunkler glasartiger Körper sei – werde das Zentralfeuer sichtbar gespiegelt (möglicherweise war die Milchstraße Anlass für die Annahme des Außenfeuers). Innerhalb der Kugel kreisen (in 24stündigem Umlauf) 10 göttliche Körper: die Fixsternsphäre, die fünf Planeten, die Sonne, der Mond, dann die Erde und, dem Zentralfeuer zunächst, die *Gegenerde* (mit dieser wird die „heilige Zahl“ 10 erreicht). Dies hat man sich so vorzustellen, dass die Gegenerde der Erde immer gegenübersteht, nie sichtbar ist, da wir auf der der Gegenerde abgewandte Erdseite leben, eine andere graphische Vorstellung findet sich unter dieser *Rekonstruktion im Internet*. Hier findet sich bei aller Wirrnis der Vorstellungen die Idee, dass die Erde auf einer Kreisbahn laufe und dass damit die Bewegung der Gestirne, auch der Fixsterne, zu erklären sei. Diesbezüglich gibt es möglicherweise – *Theophrast* zufolge – eine missverständliche Verbindung zu *Hiketas* von Syrakus (s.w.u.).

Die Pythagoräer haben vielleicht als erste die Kugelgestalt der Erde angenommen – möglicherweise nur aus philosophisch-spekulativen Gründen (Kugel als idealer Körper). Auf sie wohl geht – interpretiert man *Platon*, als von den Pythagoräern beeinflusst, richtig – wohl auch die Epizykeltheorie zurück.

Im 5. Jh erkannte man, dass sich die Fixsterne parallel zum Himmelsäquator bewegen, dass die Planeten sich aber in der Ekliptik bewegen, Schleifen und Rückläufe ausführen und verschiedene Abstände von der Erde haben; die Regressionen vermochte man nur mit der Annahme von Epizykeln zu erklären. Man entdeckte neben den großen oder nahen Planeten wie Mars, Jupiter und Venus auch Saturn (schwierig wegen der Umlaufzeit von 30 Jahren, die ihn lange als einen Fixstern erscheinen hat

70 Die sublunare Welt sei die Welt dessen, was den Wandel liebe und unvollkommen und ungeordnet sei, der Himmel; die Welt der göttlichen Gestirne sei der Kosmos, dieser ist vom vollkommenen Olympos umgeben.

lassen) und den auf Grund seiner Sonnennähe schwierig festzustellenden Merkur. Der geozentrischen Auffassung zufolge gelangte man zu folgender Reihenfolge der Himmelskörper in ihrem Kreisen um die Erde: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn⁷¹. Das war notwendig geworden, nachdem man durch Finsternisse und Bedeckungen festgestellt hatte, dass die Himmelskörper nicht alle in gleicher Entfernung an der Himmelskugel „angeheftet“ seien.

Zu Platons Zeiten dominierte jedenfalls die Auffassung, dass sich Planeten auf Kreisbahnen bewegen, er selbst schreibt nicht nur in der „Erzählung des Er“ (s. oben), sondern auch im Dialog „Gesetze“: *"Es ist keine richtige Ansicht von Sonne, Mond und den anderen Sternen, dass sie in der Irre herumziehen; gerade das Gegenteil ist der Fall: jeder von ihnen wandelt den gleichen Weg – nicht viele Wege, sondern nur einen einzigen, im Kreise; dass er viele Bahnen hat, ist nur Schein"*. Die Erde stellte man sich zu Platons Zeiten groß vor, im Dialog „Phaidon“ heißt es: *"Die Erde ist groß. Wir bewohnen nur einen kleinen Teil um das Mittelmeer herum, während andere Menschen viele andere ähnliche Räume bewohnen"*.

Wie Platon war in der Astronomie auch *Aristoteles* ein reiner Theoretiker.

In der weiteren Entwicklung spielt im Zusammenwirken mit der platonischen Auffassung des Kosmos, wie sie von *Aristoteles* vertreten worden ist, die Problematik der Planetenregression über nahezu eineinhalb Jahrtausende hinweg eine zentrale Rolle: der Umstand; dass sich die Planeten zeitweise rückläufig bewegen, war nicht zu leugnen. Daher musste ein Modell gefunden werden, das diese rückläufige Bewegung durch ein System perfekter Kreisbewegungen erklärt. In einem geozentrischen System, in dem die Erde stillsteht, ist das nur mit Hilfe von Epizykeln möglich. Als weitere Forderung trat hinzu, dass das System auch die schon in Mesopotamien eindeutig festgestellten jahreszeitlichen Unterschiede in der Bahngeschwindigkeit der Sonne (d.h. tatsächlich natürlich der Erde) abbilden sollte – um das zu ermöglichen, wurden die Exzentrizität und weiters der Äquant eingeführt. So entstand schließlich das höchst komplexe System, mit dessen Hilfe (in der Antike abschließend) *Ptolemaios* die Naturerscheinungen des Sternenhimmels zu erklären suchte. Es waren später die Errungenschaften der muslimischen Astronomie, die auch dieses System in Frage stellte und um neue Modelle rang, die den Beobachtungsergebnissen gerecht werden sollten (s.w.u.). Interessant ist in diesem Prozess, dass die bei *Aristarch von Samos* aufscheinende heliozentrische Vorstellung, mit deren Hilfe die Regression der Planeten leicht zu erklären gewesen wäre, nicht aufgegriffen worden ist.

2.3.1 Die wichtigsten griechisch-hellenistischen Astronomen

Hiketas von Syrakus um 400 – um 335 vChr)

71 Uranus ist erst im 18. Jh, Neptun im 19. Jh, Pluto im 20. Jh entdeckt worden.

war ein griechischer Philosoph und Astronom, der zur Schule der Pythagoräer gezählt wird. Ebenso wie die Pythagoräer *Ekphantos* und *Herakleides Pontikos* glaubte *Hiketas*, dass die scheinbare tägliche Bewegung des Sternenhimmels in Wahrheit auf die Rotation der Erde um ihre Achse zurückzuführen sei. *Kalkidios* überliefert, dass diese drei Gelehrten der Überzeugung gewesen seien, dass sich Venus und Merkur um die Sonne und nicht um die Erde drehten (was Tycho *Brahes* Auffassung nahekam).

Eudoxos von Knidos (um 400-355)

van der Waerden meinte interessanterweise, dieser Schüler *Platons* und des *Archytas* von Tarent sei „ein hervorragender Mathematiker, aber kein guter Astronom“ gewesen⁷². In der Astronomie vertrat *Eudoxos* mit einem Modell von 27 konzentrischen, sich aber um unterschiedliche Achsen bewegenden Sphären⁷³ erstmals eine mathematisch fassbare – allerdings höchst komplizierte – Darstellung der Planetenbewegung – jede Sphäre sollte an der nächsten (äußeren) befestigt sein, sich aber um eine andere Achse drehen, womit *Eudoxos* auch die von den Griechen (im Unterschied zu früheren mesopotamischen Beobachtern) als so problematisch wahrgenommene Rückläufigkeit der Planeten (*Mars*, *Venus* zu erklären suchte.⁷⁴ *Eudoxos* beantwortete mit seinem System die von *Platon* an die Astronomen gestellte Frage, „durch welche Annahmen von gleichmäßigen und geordneten Bewegungen die Erscheinungen der Planetenbewegungen gerettet werden könnten“ – so die Formulierung bei *Simplikios* (Kommentar zu des *Aristoteles* Schrift „De caelo“) in Widergabe einer Stelle bei *Sosigenes*⁷⁵, und auch in einer nachfolgenden Passage ist offenbar von „retten“ die Rede. In dieser Zeit entsteht auch die *Epizykeltheorie*, die als verständlicher der Vorstellung von den homozentrischen Sphären des *Eudoxos* vorgezogen worden ist und zu der später die Exzenter-Theorie tritt, die *Apollonios von Perge* als gleichwertig betrachtet hat; *Ptolemaios* hat Epizykel- und Exzentertheorie miteinander verschmolzen.

Nicht vermochte *Eudoxos* mit seiner Theorie die schon von mesopotamischen Astronomen beschriebene wechselnde Helligkeit von Mars und Venus zu erklären (die natürlich auf den in natura weit größeren Wechsel in der Distanz zurückzuführen ist). Wenn in der Literatur bezüglich des *Eudoxos* und anderer (*Hipparch*, aber auch muslimischer Astronomen) der Hinweis zu finden ist, er habe über das Analemma gehandelt, so ist das umstritten; es könnte sehr wohl sein, dass *Eudoxos*

72 In der Mathematik (s.o.) begründete er die Proportionenlehre für allgemeine Größen und die Exhaustionsmethode.

73 Einige Darstellungen der Organisation des Kosmos und darunter auch des Modells nach *Eudoxos* finden sich bei *Norbert Froese* [hier](#) sowie unter [diesem Link](#).

74 Dieses System ist vom italienischen Astronomen *Giovanni Virginio Schiaparelli* (1835-1910) rekonstruiert worden. Eine eingehende Beschreibung dieses Systems gibt *van der Waerden* 97-100.

75 Es ist vermutlich *Sosigenes der Peripatetiker* gemeint (und nicht der gleichnamige alexandrinische Astronom). Alles nach *van der Waerden*, *Die Astronomie der Griechen* 94.

nicht das „heutige“ astronomische *Analemma*, die 8-förmige Doppelschleifen-Bewegung der Sonne im Verlaufe eines Jahres⁷⁶, gemeint hat, sondern entweder ein Verfahren hinsichtlich der Ermittlung der Stundenlinien auf Sonnenuhren oder ein Projektionsverfahren. Das Sphärenmodell des *Eudoxos* ist unzähligen Verbesserungen unterworfen worden – bereits *Aristoteles* hat es auf 55 Sphären ausgeweitet. Die Schriften des *Eudoxos* sind nur fragmentarisch überliefert, ihm wird auch das 12. Buch der *Elementa* des Euklid zugeschrieben.

Das Weltbild des *Eudoxos* ist in etwa identisch mit dem des jüngeren *Aristoteles*:

- 1 Der Kosmos ist endlich und in sich geschlossen. Außerhalb des Kosmos – d. h. der Fixsternsphäre – ist nichts, auch kein leerer Raum.
- 2 Alles in ihm hat seinen natürlichen Platz.
- 3 Es wird strikt zwischen dem himmlischen und dem sublunaren Bereich unterschieden.
- 4 Der himmlische Bereich ist erfüllt vom Äther, der quinta essentia (der fünften Substanz jenseits der vier irdischen Elemente), und ist der Ort der ewigen, vollkommenen und unveränderlichen Harmonie; alle Bewegungen im Himmel sind kreisförmig, alle Wesen in seinem Bereich göttlich.
- 5 Der irdische, sublunare, Bereich ist die Welt der Veränderungen und der aus den unterschiedlichen Mischungen der vier Elemente bestehenden Materie. Hier gelten die Annahmen der späteren „peripatetische Dynamik“.
- 6 Vakuum ist physikalisch und logisch unmöglich.

Eudoxos ist auch die Erfindung der *Arachne* (= Spinne), der Fixsternscheibe auf dem Astrolab, zugeschrieben worden. Sie könnte aber auch von *Apollonios von Perge* stammen.

Herakleides Pontikos (388-315)

ein von *Pythagoras* beeinflusster reicher Schüler *Platons*, hat den Vorstellungen von der Gegenerde und von homozentrischen Sphären (die ja komplizierte Mechanismen erforderte⁷⁷) die Rotation der Erde um ihre eigene Achse innerhalb eines Tages entgegengesetzt. Da seine Schriften nicht erhalten, sondern nur sekundär überliefert sind, ist die Interpretation dessen, was *Herakleides Pontikos* vertreten

76 Das astronomische *Analemma* beruht auf dem Zusammenwirken der Ekliptik (Bewegung der Sonne vertikal über $2 \times 23,5^\circ$ und des Umstandes, daß die Erdbahn kein Kreis, sondern eine Ellipse ist, und auch auf dem Umstand, daß die Erdgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Sonnendistanz unterschiedlich ist; es war in der Antike in Ermangelung hinreichender Zeitmessungs- und Aufzeichnungsmöglichkeiten noch nicht feststellbar. Zum astronomischen *Analemma* s. hier (Vasilij Rummyantsev Photography page, auf der Krim gemachte Aufnahme des *Analemma*), *Analemma* und *Sonnenstand*.

77 Dementsprechend gab es eine Reihe nachfolgender Modelle, in denen die Zahl der Sphären, die für die Erklärung der beobachteten Bewegungen erforderlich gehalten wurden, immer größer wurde. *Eudoxos* nahm 27 Sphären an, einer seiner Schüler schließlich 34. Es ist dies der Beginn einer langwierigen Entwicklung von komplizierten Epizykelsystemen, die erst durch *Kepler* mit der Beseitigung der Epizykeln beendet wurde.

hat, sehr schwierig⁷⁸, zumal *Platon*, *Aristoteles*, *Eudoxos* und *Herakleides Pontikos* zeitgleich gelebt und sich mit diesen Fragen befasst haben. Van der Waerden gelangt zur Annahme, dass *Herakleides Pontikos* in Übereinstimmung mit *Platon* ein *Modell* entwickelt habe, in dem die Sonne eine (hinsichtlich ihrer Dimension nicht beschriebene) Kreisbahn durchlaufe, um die die Kreisbahnen von Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn angesetzt seien, sodass daraus ein nahezu vollkommenes heliozentrisches System resultiere, wie es der Darstellung *Platons* „Gesetzen“ entspreche. Er ist damit den Vorstellungen von *Aristarch von Samos* und *Kopernikus* nahe gekommen. – *Herakleides Pontikos* schrieb auch über eine Fülle anderer Gegenstände, so zur Akustik (er erkannte Schall als eine Folge von Luftstößen, deren Zahl in der Zeit die Tonhöhe bestimmt) und zur Musik.

Die Pythagoräer stellten in ihrer mit der Mathematik verknüpften Mystik⁷⁹ die Frage nach den Abständen der die Erde umkreisenden Himmelskörper, wobei sie in Analogie zu den Längen der tönenden Saiten in der Akustik ganz ähnliche Proportionen erwarteten und annahmen, dass die Planeten Töne erzeugten, deren Gesamtheit in harmonischem Einklang stehen müsste: es ist dies bis heute lebendige Vorstellung von der *Sphärenharmonie*. *Platon* dachte an 1:2:3:4:8:9:27. So sinnlos diese Frage heute erscheint, so war sie doch äußerst fruchtbar, indem sie immer wieder zur Überprüfung resp. zur Feststellung der Entfernungen anregte. *Kepler* hat die Kugelschalen der Platonischen Körper den Abständen zugrunde gelegt, dann kam die *Titius-Bode-Reihe*⁸⁰ hinzu; so haben diese Vorstellungen bis weit in das 18. Jh hinein Wirksamkeit entfaltet.

Aristoteles (384-323)

In der Astronomie hat *Aristoteles* die Kugelgestalt der Erde, der übrigen Gestirne⁸¹ wie für das All angenommen, das ihm endlich erscheint. Den 27 Sphären des *Eudoxos*⁸² hat *Aristoteles* noch 22 weitere hinzugefügt, ist schließlich auf 55 gelangt. Die Vorstellung von der Sphärenharmonie hat er abgelehnt.

78 Sehr eingehend setzt sich van der Waerden, *Astronomie der Griechen 105-120*, mit dieser Frage auseinander.

79 Im Alten Orient und bei den Pythagoräern kommt den Zahlen eine zusätzliche Bedeutung zu, viele heilige Zahlen: 3, 7, aber auch $1+2+3+4=10$. Bedeutung des Fünfecks, dessen Konstruktion einen triumph der Geometrie dieser Zeit bedeutete – auch des Pentagramms. Hier ist auch die Mystik von den 5 Platonischen Körpern zu erwähnen, deren Konstruktion den Höhepunkt der Euklidschen Geometrie bildet. Euklid beweist auch, daß es nur fünf Platonische Körper geben kann. – Die Pythagoräer entdecken aber auch die irrationalen Zahlen, z.B. Wurzel aus 2. Seelenwanderung etc. – Die Pythagoräer sind Ausgangspunkt für Bereiche der Logik, der Naturwissenschaften und der Mathematik, in der sie den Deduktionsbeweis begründen.

80 Ihr zufolge sollten die Planetenbahnenradien sich nach der Formel $R = (4+3.2n)/10$ verhalten, wobei Erde als Einheit 1 dient: $(4+3.2)/10 = 1$. n steht für die Zahl des Planeten im System nach außen gezählt.

81 Und zwar auf Grund von Beobachtungen – Marsdurchgang hinter dem teilweise beleuchteten Mond, Position von Sternen am Himmel in Ägypten und in Makedonien, Berechnungen über den Umfang der Erde etc.

82 Ein Himmelsglobus nach den Vorstellungen des Eudoxos ist aus dem 3. Jh v. als Marmorkugel – Farnesischer Globus in Neapel – erhalten geblieben. Erdgloben kommen erst im 15. Jh auf.

Die Kometen zählte er zu den sublunaren Erscheinungen – dabei blieb es bis in das 17. Jh⁸³. Die physikalischen Kenntnisse zur Zeit des *Aristoteles* sprachen für die Annahme einer ruhenden Erde.

In Alexandria überwindet die Astronomie einigermaßen den spekulativ-logischen, deduktiven Charakter der Periode zuvor und man geht zu exakten Beobachtungen, zu genauem Messen über, wobei sich die Genauigkeit natürlich noch in technischen Grenzen hielt, mitunter aber doch verblüffende Werte erreichte⁸⁴.

Aristarch von Samos (fl. 280)

Aristarch von Samos ist einer der größten und originellsten Astronomen überhaupt, er hat die Hypothese des heliozentrischen Systems vertreten. Von ihm ist nur eine einzige Abhandlung erhalten:

- Über Größe und Entfernung von Sonne und Mond. Er geht von seinen eigenen Beobachtungen aus, die hervorragend exakt sind. Er gibt nur Verhältnisse an und geht davon aus, dass exakt im Augenblick des Halbmondes der Winkel Erde-Mond/Mond-Sonne ein rechter Winkel ist; wenn man im selben Augenblick den Winkel Mond-Erde -Sonne misst, erhält man die Gestalt eines rechtwinkligen Dreiecks und damit die Proportionen der Seiten. Allerdings ist ihm dabei ein rein technischer Fehler unterlaufen Er maß den Winkel Mond-Erde-Sonne mit 87 Grad, statt mit 89/50. Man war aber damals nicht in der Lage, derartig kleine Winkeldifferenzen zu messen., der die Entfernung Erde-Sonne um das Zwanzigfache verfälschte. Ähnlich ging er bei der Bestimmung der Volumsverhältnisse zwischen Erde, Mond und Sonne vor, wobei er das Verhältnis Erde-Mond der Größenordnung nach richtig angibt Und zwar mit 1:30 (statt 48). Bei der Sonne fehlte er weit, als er 1:300 statt 1:1,300.000 angab. Wenn man bedekt, daß Eratosthenes sehr exakt die Größe der Erde bestimmt hat, dann verfügte man im 3. Jh v. dennoch über bereits recht beachtliche Angaben über die Dimensionen des Sonnensystems...

Aristarch von Samos nimmt in der erhaltenen Abhandlung die Erde als ruhendes Zentrum an. Aus späteren Quellen, vor allem aus der "Sandrechnung" des *Archimedes*, wissen wir aber, dass *Aristarch von Samos* – zumindest zeitweise – das heliozentrische System vertreten hat. *Archimedes* schreibt:

"A. gelangt zur Annahme, die Fixsterne samt der Sonne seien unbeweglich. Die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, die in der Mitte der Erdbahn steht, geführt. Die Fixsternsphäre hat ihren Mittelpunkt im Mittelpunkt der Sonne. Dem Einwand, weshalb denn die Fixsterne trotz der Kreisbahn der Erde praktisch unverändert bleiben, entgegnete er mit der Erklärung, dass die Sphäre der Fixsterne

83 Es war dies eine ideologisch wichtige Frage, ähnlich wie die der Sonnenflecken.

84 *Hipparch* soll für das Mondmonat einen Wert angegeben haben, der nur um eine Sekunde von unserem heutigen Wert differiert!!! Sein Wert für das Sonnenjahr weicht um wenige Minuten ab.

(ihr Durchmesser) so groß sei, dass die Erdbahn sich zu ihr verhalte wie der Mittelpunkt einer Kugel zu deren Oberfläche".

Diese Vorstellungen fanden offenbar keinen Anklang (so berichtet auch *Plutarch*), sie schienen die Wahrnehmungen offenbar weniger günstig zu erklären als die mittlerweile vertrauten älteren Systeme, und vielleicht ist auch *Aristarch von Samos* selbst wieder von ihnen abgegangen. Eines der Hauptprobleme war wohl, dass man sich keine antriebslose Bewegung vorstellen konnte; woher sollte die ungeheure Kraft kommen, die die Erde bewegte und wie sollte sie ansetzen? *Ptolemaios* hat Gründe gegen die Theorie des Aristarch zusammengestellt:

- die leichtesten Substanzen, nämlich die Himmelskörper sollten ruhen, während die schwere Erde bewegt wird? (Kepler hingegen kann sich das ganz leicht vorstellen)
- bei der schnellen Bewegung der Erdoberfläche würden alle nicht fest mit ihr verbundenen Körper auf der Oberfläche zurückbleiben bzw. nach Westen wegfliegen – es ist dies eine Frage, die bis in die Frühe Neuzeit diskutiert worden ist; erst in der spätscholastischen Naturphilosophie ist ein Lösungsansatz präsentiert worden und erst Galilei und Newton haben diese Frage geklärt.

So ist diese Vorstellung nur noch von *Seleukos von Seleukia* massiv vertreten worden, ansonsten wieder in den Hintergrund getreten und erst im 15. Jh von *Kopernikus* wieder aufgegriffen worden. In der Antike gab es aber nachweislich beide Vorstellungen: Heliozentrik und Geozentrik.

Seleukos von Seleukia, auch „von Babylon“ (um 190 vChr)

Seleukos nimmt an, dass die Erde frei im Raum schwebt und durch den sie umkreisenden Mond ein wenig in ihrer Bahn beeinflusst werde, wie er den Mond auch als Verursacher von Ebbe und Flut anspricht. Das Weltall hält er für unendlich. *Plutarch* erklärt ausdrücklich, *Aristarch von Samos* habe die Drehung der Erde behauptet, *Seleukos* aber habe sie „bewiesen“ – gemeint ist hier zweifellos, dass er empirische Angaben gemacht hat, wie man auf Grund dieser Annahme die Planetenpositionen berechnen könne.

Archimedes von Syrakus 287-212

Er ist für die Astronomie insofern von Bedeutung, als er ein Planetarium baute, dessen Kugel durch Metallreifen angedeutet war und in dem die Bewegungen von Sonne, Mond und der fünf Planeten nachgeahmt wurde, angeblich angetrieben durch ein Uhrwerk⁸⁷. *Cicero* behauptete, dieses Wunderwerk selbst gesehen zu haben, allerdings bricht seine Schilderung mitten im Satz ab, und das Buch „Über die Anfertigung von Sphären“, das *Archimedes* dazu geschrieben hat, ist verloren.

87 So bei van der Waerden 161! Träfe dies zu, so wäre der wesentlich spätere Apparat von Antikythera in seiner Bewertung gemindert.

Sehr früh ist in sehr brauchbarer Weise die Messung des **Erdumfangs** gelöst worden:

Eratosthenes von Kyrene (273-192),

Eratosthenes ist als Astronom wie als Mathematiker (Primzahlensieb) bedeutend. Er hat als erster ziemlich genau den Umfang der Erde bestimmt, indem er den Breitenunterschied zwischen Syene und Alexandria mit $7 \frac{1}{12}$ Grad = $\frac{1}{50}$ des Umfanges einer Kugel feststellte und daraus in Kenntnis der Distanz der beiden Orte den Gesamtumfang berechnete⁸⁸.

Eratosthenes kann damit als Begründer der mathematischen Geographie gesehen werden; darüber hinaus hat er auch zur der wissenschaftlichen Chronologie für die politische und literarische Geschichte der Griechen beigetragen und sich als erster als Philologe bezeichnet.

Apollonios von Perge (260-200/190)

Ist neben seiner Bedeutung als Mathematiker im Bereich der Astronomie deshalb zu nennen, weil er die Epizykeltheorie samt der Exzentertheorie voll entwickelt und mathematisch behandelt hat – *Neugebauer* und *van der Waerden* sehen in ihm den eigentlichen Begründer der griechischen mathematischen Astronomie. Auf seiner Leistung beruhen viele Angaben bei *Ptolemaios*.

Hipparchos von Nikaea (190-120)

in Alexandria und auf Rhodos, war der vermutlich geduldigste und exakteste Beobachter unter den antiken Astronomen – er hat von 141-126 genaueste astronomische Beobachtungen auf Rhodos und in Alexandria durchgeführt, wozu er auch die Instrumente entwarf und baute. Aus seinen astronomischen Bedürfnissen heraus hat er die ersten Sehrentafeln errechnet – er ist deshalb aber nicht als Erfinder der Trigonometrie anzusprechen.

Hipparch hat die Präzession, die rückläufige Bewegung der Äquinoktien in Bezug auf die Fixsterne auf Grund der Taumelbewegung der Achse der Ekliptik, entdeckt: Beim Vergleich einer älteren Beobachtung fand er eine Abweichung in der Position eines Fixsterns⁸⁹. In Überprüfung dieser für unmöglich gehaltenen Erscheinung stellte er fest, dass sich alle Fixsternpositionen gegenüber einem 160 Jahre alten Fixsternkatalog verschoben hatten⁹⁰. Er fand dafür die richtige Erklärung in der Präzession

88 Ein Fehler war, daß die beiden Orte nicht auf einem Meridian liegen, sondern durch mehr als 3 Grad Länge getrennt sind.

89 Anlaß dazu war das Auftreten einer Nova im Jahre 134 vChr, die auch in chinesischen Quellen erwähnt wird. *Hipparch* hat in der Folge 1000 Fixsternorte neu bestimmt und damit einen neuen Katalog geschaffen.

90 Und zwar um ganze 2 Grad!

der Erdachse, auf der auch das Vorrücken der Tag- und Nachtgleiche beruht⁹¹. Er hat diesen rund 25.800 Jahre dauernden Zyklus (= Platonisches Jahr) richtig berechnet. Seine Bestimmungen des Mondjahres, des Sonnenjahres, der Ekliptik, der Umlaufzeiten der Planeten, der Entfernung Erde-Mond stellten die Astronomie für etwa eineinhalb Jahrtausende auf eine neue quantitative Grundlage. Er erkennt, dass die Jahreszeiten ungleich lang sind und die Sonne ungleich lang in den einzelnen Quadranten verweilt – er erklärt dies durch den Umlauf der Sonne auf einem Kreis, der seinen Mittelpunkt nicht im Zentrum der Erde habe!

Hipparch erstellte einen Fixsternkatalog, der leider verloren, aber in Gestalt des Kataloges des *Ptolemaios* wohl teilweise überliefert ist. *Hipparchs* Messungen waren dermaßen genau, dass er sich veranlasst sah, die Sonnenbahn epizyklisch an zunehmen, da das Ergebnis keinen exakten Kreis zuließ⁹² – auf die Idee, dass es sich um eine Ellipse handle, kam er allerdings noch nicht. Dadurch, dass er die heliozentrische Theorie des *Aristarch von Samos* ablehnte, legte er den Grundstein für die Übermacht des geozentrischen Systems.

Hipparch hat vermutlich den Kometen des Jahres 134 vChr beobachtet, der auch in chinesischen Quellen behandelt wird. *Ptolemaios* und *Pappos* zufolge hat sich nach *Aristarch von Samos* auch *Hipparch* eingehend mit der Frage der Distanz von Sonne und Mond befasst.

Hipparch besitzt für die Astronomie die Bedeutung des *Aristoteles* in der Zoologie und des *Theophrast* in der Botanik.

Klaudios Ptolemaios (120 – nach 160)

Ptolemaios, der lange Zeit berühmteste Astronom der Antike, ist vor allem in der Neuzeit nicht durchwegs positiv beurteilt worden. Bereits der französische Astronom und Astronomiehistoriker Jean-Baptiste Joseph *Delambre* hat *Ptolemaios* 1817 der Fälschung, des Plagiats, der Lüge etc. bezichtigt; 1977 ist *Robert Newtons* Buch „The Crime of Claudius Ptolemy“ erschienen, in dem festgestellt wird, es wäre für die Astronomie besser gewesen, wäre der *Almagest* nie geschrieben worden. Tatsächlich hat *Ptolemaios* systematisch und absichtlich Beobachtung gefälscht, um die Beobachtung seinen Theorien anzupassen, die z.T. überhaupt nicht auf empirischen Daten beruhen; die Aussage, dass sein Sternkatalog

91 Es gibt mehrere Präzessionsphänomene. Das wichtigste ist jene Präzession, die bewirkt wird durch die Anziehung von Sonne und Mond auf den Äquatorwulst der Erde, die die Erdachse in eine Senkrecht zur Erdbahn zwingen will; da die Erde aber durch die Rotation als Kreisel reagiert, gibt sie dieser Einwirkung nicht nach, die Achse weicht aus = Lunisolar-Präzession, die das rückläufige Wandern des Schnittpunktes des Äquators mit der Ekliptik um jährlich 50,26 sec bewirkt. Eine zweite, weit geringere Präzession ist jene durch die Anziehungskraft der großen Planeten, sie verändert die Schiefe der Ekliptik, wodurch der Frühlingspunkt jährlich um 0,12 sec in Richtung wachsender Rektaszension verschoben wird. Darüber hinaus wirken noch die Nutation (verursacht durch die Neigung der Mondbahn) und relativistische Effekte auf die Erdbewegung. — Vgl. dazu die sehr übersichtliche Darstellung in www.greier-greiner.at

92 Er entdeckte nämlich, daß sich die Sonne resp. die Erde in bestimmten Bereichen schneller bewege als in anderen (nämlich in Sonnennähe! 3. Keplersches Gesetz).

auf Beobachtungen beruhe, die er mit einem eingehend beschriebenen Instrument selbst gemacht habe, ist falsch – er hat offenbar lediglich zu den bei *Hipparch* gegebenen Längenangaben 2# 40' hinzugefügt. Darüber hinaus finden sich erwiesenermaßen viele weitere Unwahrheiten in seinen Werken.

Seine wichtigsten Arbeiten sind die

- *Megale* oder *Mathematike syntaxis* = *Almagest* = Große Zusammenfassung, aus dem arabischen Titel entstand in Verballhornung der gebräuchliche Titel *Al-magest* = *Almagest*. Ptolemaios hat in diesem Werk das astronomische und trigonometrische Wissen seiner Zeit niedergelegt; blieb bis in das 15., ja 17. Jh. das astronomische Standardwerk; das Werk ist den *Elementen* des Euklid nachgebildet und hat wie diese 13 Bücher und ist auch ganz ähnlich klar gegliedert und geschrieben. Der *Almagest* wurde wahrscheinlich schon im 6. Jh. ins Syrische, nach 827 wiederholt ins Arabische übersetzt und ab dem 12. Jh in allerdings meist unvollständiger und auch verballhornter Form ins Lateinische übertragen – es ist dies die einzig erhaltene Überlieferung. Zur Überlieferung nach Oliver H. Herde: „Im 5. Jahrhundert unserer Zeitrechnung wurde das Werk durch die von der christlichen Reichskirche verfolgten Nestorianer ins Perserreich gebracht und ins Syrische übersetzt. Kalif Harun al-Raschid (786-809) veranlasste eine Übersetzung ins Arabische, doch gefiel ihm die erste durch den Wesir Jahja nicht. Die zweite erfolgte durch Abu Hazan und Salmus. Eine spätere berühmte Übersetzung stammt von Mohammed ben Geber al-Batani (~880-928), die als Vorlage für Gerhard von Cremonas lateinische Fassung von 1175 diente. Schon zuvor - im Jahre 1158 - erhielt eine Gesandtschaft des Normannenkönigs Wilhelms I. eine griechische Abschrift des Kaisers von Byzanz Manuel I. Komnenos. Auch diese Ausgabe wurde direkt ins Lateinische übersetzt. Die erste Teilübersetzung ins Deutsche - nämlich nur die des Sternenkataloges - erfolgte 1795 durch Johann Elert Bode. Das Gesamtwerk erschien erst 1911 auf Deutsch durch Karl Manitius.“ Im Spätmittelalter und in der Neuzeit entstehen zahlreiche weitere Übersetzungen und Kommentare.. Im 15. Jh haben sich Peurbach und Regiomontan um die Erstellung eines tragfähigen Textes bemüht. Dieses Werk hat die gesamte Astronomie bis in die Neuzeit bestimmt. Dem Werk ist ein Epigramm vorangestellt: „Daß ich sterblich bin, weiß ich, und dass meine Tage gezählt sind. Aber wenn ich im Geiste den vielfach verschlungenen Kreisbahnen der Gestirne nachspüre, dann berühre ich mit den Füßen nicht mehr die Erde: am Tische des Zeus selber labt mich Ambrosia, die Götterspeise“, nach van der Waerden, *Astronomie der Griechen* 255f. Es ist unklar, ob das Epigramm von Ptolemaios selbst stammt..

Inhaltlich umfasst das Werk die gängigen Probleme der Astronomie in allerdings unterschiedlicher Intensität.

1. Buch: Grundaufbau des Ptolemäischen Weltbildes mit Begründungen; Grundlagen der Sehnen trigonometrie samt Tafel
2. Buch: Anhand der Schiefe der Ekliptik Berechnung von Aufgangszeiten für verschiedene Breiten; Tafeln der Aufgänge

- 3. Buch: Bewegung der Sonne
- 4. und 5. Buch: Bewegung des Mondes
- 6. Buch: Finsternisse
- 7. und 8. Buch: Sternkatalog mit 1025 Fixsternen in 48 Sternbildern
- 9.-11. Buch: Planetenreihenfolge, Planetenbewegungen (Epizykel)
- 12. Buch: scheinbare Rückläufigkeit der Planeten
- 13. Buch: Breitenbewegung der Planeten

Am Anfang des fünften Buches beschreibt Ptolemaios sein Beobachtungsinstrument, das Astrolabon, das später auch Armillarsphäre genannt wurde und mit dessen Hilfe man die Längen und Breiten der Fixsterne und des Mondes messen konnte – vermutlich hat schon Hipparch ein ähnliches Instrument verwendet. Des weiteren beschreibt er in diesem Buch auch sein parallaktisches Instrument. Unter Parallaxe versteht man den Winkel zwischen den Visierungslinien auf ein Objekt von unterschiedlichen Beobachtungsorten aus (z.B. auf einen Fixstern von zwei gegenüberliegenden Orten der Erdumlaufbahn). Dieses Prinzip wird bei jeglicher Entfernungsmessung angewendet, indem man die Basisstrecke und die beiden anliegenden Winkeln des Dreiecks kennt, an dessen gegenüberliegender Spitze sich das Objekt befindet., das später auch Triquetrum „oder „Dreistab“ genannt wurde. Im 9. Buch gibt Ptolemaios seine Planetentheorie: er nimmt für jeden der fünf Planeten (untere Planeten: Merkur, Venus; obere Planeten Mars, Jupiter und Saturn) einen exzentrischen Kreis an, auf dem der Mittelpunkt eines Epizykels sitzt (wobei es für Merkur eine Sonderkonstruktion gibt); die Rechtfertigung dieser Konstruktion ist sehr lapidar textiert: er behauptet, auf Grund eingehender Beobachtungen dazu gekommen zu sein, wahrscheinlicher ist aber, dass er eine ältere Theorie und Werte aus ägyptischen „ewigen Tafeln“ übernommen hat – mit Sicherheit sind alle Venusdaten gefälscht.. Darüber hinaus weisen die Resultate der Messungen, die Ptolemaios überliefert, z.T. systematische, z.T. zufällige Fehler und mitunter beides auf, sind dem entsprechend unzuverlässig und bis heute Gegenstand heftiger Kritik.

Ptolemaios argumentiert (nach Herde) für die Kugelgestalt des Himmelsgewölbes wie folgt: Die Gestirne beschreiben Parallelkreisbahnen von Ost nach West. Die Zeit, in der sie nicht sichtbar sind, passt rechnerisch immer zu einer Vollendung einer Kreisbahn, während auch die immer sichtbaren Sterne jeweils eine Kreisbahn um dasselbe Zentrum beschreiben. Dieser Punkt muss ein Pol der Himmelskugel sein, allein damit können solche Kreisbahnen erklären werden. Die scheinbare Vergrößerung der Gestirne, wenn sie am Horizont stehen, erklärt Ptolemaios durch eine Lichtbrechung in der Verdunstung. Zudem müsse der Äther als perfektes Element kugelförmig sein, da es auch alle Himmelskörper sind. Letzteres erweise sich aus der Beobachtung. Wäre zum Beispiel die Sonne eine Scheibe, so müsse man sie von verschiedenen Punkten der Erde - also aus

verschiedenen Blickwinkeln – unterschiedlich sehen, da sie aber immer kreisrund ist, muss sie eine Kugelform haben.

Bezüglich der Gestalt und der Position der Erde argumentiert Ptolemaios: An Unterschieden bei der Beobachtung von Finsternissen an verschiedenen Erdpunkten kann man feststellen, dass der Aufgang der Gestirne nicht überall gleichzeitig stattfindet. Die Oberfläche der Erde muss also gewölbt sein. Eine Walzenform kommt jedoch nicht in Frage, da man sonst keine immer sichtbaren Sterne hätte. Ein weiterer Hinweis auf die Form der Erde sind die Beobachtungen an Schiffen, die in der Ferne im Meer zu versinken scheinen. Dieses Phänomen zeigt sich in allen Richtungen; die Erde muss also ebenfalls die Gestalt einer Kugel haben. Dass die Erde im Mittelpunkt von allem steht, ergibt sich durch das Ausschlussverfahren der anderen Möglichkeiten: Stünde sie irgendwo in polgleicher Entfernung im Himmelsgewölbe, jedoch nicht auf der Achse, so könnte es keine Tag- und Nachtgleichen geben, ebenso wenig unterschiedliche Abstände der Sonnenwenden. Auch müssten dann die Abstände zu den Gestirnen unterschiedlich sein, was nicht der Fall sei. Läge die Erde irgendwo neben der senkrechten Verbindung der Himmelspole, könnte man nicht zu jeder Zeit immer genau sechs Tierkreiszeichen sehen, sondern mal mehr, mal weniger etc. Aus alledem ergibt sich nach Ptolemaios, dass die Erde im Mittelpunkt stehen müsse und diesen auch zu keiner Zeit verlasse. Auch auf ihre Größe im Verhältnis zum Himmelsgewölbe kann man Rückschlüsse ziehen: Da die Gestirne von allen Orten aus gleich entfernt scheinen, muss der jeweilige genaue Beobachtungspunkt eine verschwindend kleine Rolle spielen, die Erde im Vergleich zum Himmelsgewölbe also winzig klein sein, als habe sie Punktgröße. Dafür spricht auch der Umstand, dass der Horizont die Himmelskugel genau halbiert. Die Erde bleibt nach Ptolemaios nicht nur fest am Ort, sie dreht sich auch nicht, wie es zu seiner Zeit schon von anderen erwogen wurde – sein Argument: würde man ein Objekt hoch, müsste es bei einer Selbstdrehung der Erde doch anderswo herunterfallen, da sich die Erde inzwischen weitergedreht habe.

Um die Erde herum sollten sich nach weit verbreitetem Weltbild die Sphären der fünf bekannten Planeten und von Mond und Sonne, die auch als Planeten galten, befinden. Ptolemaios stellt zwei Planetenreihenfolgen gegeneinander zum Vergleich. Die althergebrachte Reihenfolge war bei den Gelehrten diese: Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, Fixsterne. Eine neuere Auffassung vertrete eine andere Reihenfolge, nämlich: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Fixsterne. Die Argumentation hierfür sei, dass man nie den Merkur oder die Venus vor der Sonne diese habe passieren sehen. Dies sei aber auch nicht notwendig, wenn ihre Bahnen die der Sonne gar nicht schnitten. Somit sei das Hauptargument für die neue Planetenreihenfolge entkräftet. Man könne sich ruhig für die 'einfachere' und althergebrachte Theorie entscheiden, zumal Ptolemaios die Mittellage der Sonne zwischen den Planeten als natürlicher vorkommt. Ihre Sphäre trenne somit

jene Planeten, die in Opposition stehen können, von den anderen. Ptolemaios führt also keinen Beweis, sondern entscheidet sich einfach, den alten Autoritäten zu folgen.

Das "bewohnte", also das den Einwohnern des Römischen Reiches bekannte Gebiet auf der bereits erklärten Weltkugel lokalisierte Ptolemaios folgendermaßen: er teilte den Globus gedanklich auf; eine der Schnittlinien war der Äquator. Da alle Schatten der Gnomoi immer nach Norden weisen, könnten Europa, Asien und Nordafrika nur auf der Nordhalbkugel liegen. Zur näheren Längenbestimmung dieses Raumes führte er an, dass der bekannte westlichste und östlichste Punkt bei der Beobachtung von Finsternissen einen maximalen zeitlichen Abstand von zwölf Stunden aufwiesen. Nach Oliver H. Herde, [www-Quelle](#).

Weitere Schriften des *Ptolemaios* sind:

- *Phaseis*, von diesem Werk ist nur ein Buch von zweien erhalten, es befasst sich mit Sternaufgängen und hat insbesondere auf die arabische Astronomie wesentlichen Einfluss ausgeübt, da dort die heliakischen Gestirnsaufgänge eingehend beobachtet wurden
- *Hypothesen der Planeten*, ist eine vereinfachende Darstellung der Planetenbewegung, jedoch mit nicht unwesentlichen Abweichungen; doch ist dieses Werk weit weniger einflussreich gewesen als der *Almagest*
- *Kanobos*–Inscription auf eine Stele, die Ptolemaios aufstellen hat lassen, praktisch nur Zahlenwerte der wichtigsten astronomischen Gegebenheit, vielfach aus dem *Almagest*
- „*Handliche Tafeln*“ – vielfältig überliefertes Datenwerk für Astrologen, praktischer eingerichtet als im *Almagest*
- *Planispherium* – dieses Werk ist verloren, wurde aber von Hermannus Dalmatus vor dem Verlust der arabischen Übersetzung ins Lateinische übersetzt und beschreibt das Astrolabium mit der Zentralprojektion vom Südpol aus.

Weitere, nicht astronomische Schriften des *Ptolemaios* sind

- *Geographische Anleitung* (zum Kartenzeichnen), auch als "Erdbeschreibung" bekannt, enthält in Tabellenform 8000 Orte nach Länge und Breite, auch Gebirge und Flussmündungen, älteste Erwähnungen der Friesen, Langobarden, Sachsen und Sudeten, trotz mancher Irrtümer (Mittelmeerlänge) das Standardwerk bis in die Neuzeit,
- *Tetrabiblos* = *Quadripartitum*, vier Bücher über „die zur Voraussage aus der Stellung der Gestirne gehörigen Dinge“ = Astrologie, in der er eine Einwirkung der Gestirne auf das menschliche Leben annimmt, die aber im peripatetischen Sinne als durch die freien Willensentscheidungen des Menschen beeinflussbar betrachtet wird, so dass eine fatalistische Denkweise vermieden wird. Philipp Melanchthon hat diese Schrift ins Lateinische übersetzt und herausgegeben.

- Optik in fünf Büchern; es ist nur eine lateinische Übersetzung aus dem Arabischen erhalten; das Werk befasst sich mit dem für die Astronomie sehr wichtigen Phänomen der Refraktion, der Lichtbrechung. Es ist zu bedenken, daß die Griechen noch kein blasenfreies Glas kannten, daher auch keine Linsen. Mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Geräts (einer zur Hälfte in Wasser getauchten Gradscheibe) ermittelte er den Brechungskoeffizienten für den Übergang des Lichtes von Luft ins Wasser mit 1,31 (heute 1,33). Diese Beobachtungen wandte er auf die atmosphärische Refraktion an, die von Horizont zum Zenith hin abnimmt, was für die Genauigkeit der Beobachtungen knapp über dem Horizont von Wichtigkeit ist. Nach ihm haben sich die Muslime an dieser Frage versucht, sind jedoch nicht weit über ihn hinausgekommen, erst Kepler hat die Sache wieder aufgegriffen und fortgeführt, bis Snellius um 1620 das Brechungsgesetz fand. – Mit der Optik hatte sich zuvor auch Heron von Alexandria beschäftigt.
- Harmonik, drei Bücher, darin fasste Ptolemaios die Musiktheorie des Altertums zusammen; nach den auf Zahlenspekulation und experimenteller Beobachtung beruhenden Erkenntnissen der Pythagoräer werden die Intervalle dargestellt und daraus die Tonleitern erklärt; der Neuplatoniker Porphyrios schrieb dazu einen Kommentar.
- Erkenntnistheorie – „Über das Kennzeichen der Wahrheit und das leitende Prinzip im Menschen“ = „De iudicandi facultate et animi principatu“; Ptolemaios folgt darin in der Hauptsache dem peripatetischen System, mit dem er mittelplatonische, neupythagoreische und stoische Anschauungen in einem Eklektizismus höherer Art verbindet. „Bemerkenswert ist die Annahme eines doppelten leitenden Prinzips in der menschlichen Seele, eines solchen für das Leben überhaupt, dessen Sitz nach stoischer Lehre im Herzen angenommen wird, und eines Prinzips für das gute Leben, das er mit den Platonikern im Gehirn lokalisiert“ (Bautz).

Ungeachtet der sehr unterschiedlichen Qualitäten der Inhalte seiner Schriften kann der Einfluss des *Ptolemaios* auf die nachfolgende Astronomie bis in die Neuzeit kaum überschätzt werden.

2.3.2 Zur Vorstellung von den Sphären – Epizykel, Exzenter und Koordinatensystem

Im 5. Jh schon hat *Philolaos* erklärt, der Kosmos sei eine Kugel, in deren Zentrum sich das Zentralfeuer befinde und die außen vom Feuer der grenzenlosen Olymp umschlossen sei. Das Zentralfeuer sei jedoch unsichtbar, lediglich durch die Sonne – die in Wirklichkeit ein dunkler glasartiger Körper sei – werde das Zentralfeuer sichtbar gespiegelt, möglicherweise war die Milchstraße Anlass für die Annahme des Außenfeuers. Innerhalb der Kugel kreisen 10 göttliche Körper: die Fixsternsphäre, die fünf Planeten, die Sonne, der Mond, dann die Erde und, dem Zentralfeuer zunächst, die Gegenerde.

Platon interpretierte die Gestirne als göttliche "Wesen", deren Göttlichkeit sich in der Regelmäßigkeit ihrer Bewegung auf einer vollkommenen Kreisbahn offenbare – er entwickelte die Vorstellung der Sphärenharmonie, die ja auch bei *Pythagoras* vorhanden ist und bis in die Neuzeit fortlebte (so in *Keplers* „*Harmonices mundi*“) und auch in Musik umgesetzt worden ist. Aus der Forderung *Platons* resultierte, dass sich alle Astronomen bemühten, scheinbar ungleichmäßige Bewegungen auf regelmäßige zurückzuführen. Der griechische Astronom und Mathematiker *Eudoxos*, ein Schüler *Platons*, nahm 27 homozentrische Sphären an⁹⁸, einer seiner Schüler 37; die Zahl ist dann späterhin weiter angestiegen, *Aristoteles* operierte mit 55 Sphären. Es kam zur Vermehrung der Zahl der Sphären bzw. zur Einführung von Hilfssphären, die die Erklärung der durch neue Beobachteten erfassten Erscheinungen ermöglichen sollten. Da die Beobachtungen immer genauer wurden, wurden die Probleme mit den „Unregelmäßigkeiten“ immer größer, und die Vorstellungen hinsichtlich der „Konstruktion“ des kosmischen Mechanismus wurden immer komplizierter. *Ptolemaios* stellte auch fest, dass die Erde für das Sommerhalbjahr 186 Tage und 11 Stunden benötigt, wahren sie vom Herbstpunkt zum Frühlingspunkt nur 178 Tage und 18 Stunden braucht – ein Umstand, den schon *Hipparch* bemerkt hatte; dazu traten noch zwei andere Unregelmäßigkeiten⁹⁹.

Hipparch vielleicht schon, sicher aber *Ptolemaios* führte nun zur Darstellung dieser Unregelmäßigkeiten anstelle der Hilfssphären die Epizykel, die Exzentrizität des Deferenten (der Kreis, auf dem umlaufend und in sich rotierend die Epizykel gedacht wurden) und den Äquanten ein (das ist jener Punkt, der als Zentrum für Umlaufbewegung gedacht wurde; mit seiner Einführung wird die unterschiedliche Geschwindigkeit der Sonne (d.h. der Erde) auf der Umlaufbahn bewirkt. Mit ihrer Hilfe werden nun die Geschwindigkeitsänderungen der Planeten unter Aufrechterhaltung einer gleichförmigen kreisförmigen Bewegung der Planeten als scheinbar erklärt.

Mit Hilfe derartiger Konstruktionen fand *Ptolemaios* mit acht Sphären das Auslangen; *Thabit ibn-Qurra*, einer seiner arabischen Übersetzer (s.w.u.), fügte eine neunte hinzu für die irrig angenommene Schwankung der Äquinoktien (er ist für die Verbreitung dieses Irrtums verantwortlich).

In der Praxis führte dies in Ausweitung der Beobachtungen später dazu, dass man auch mehrere Epizykel für einen Himmelskörper einführte und verschiedene Bahnneigungen postulierte¹⁰⁰, um so etwa

98 Ein Himmelsglobus nach den Vorstellungen des *Eudoxos* ist aus dem 3. Jh vChr als Marmorkugel – Farnesischer Globus in Neapel – erhalten geblieben.

99 Nämlich der scheinbare Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten sowie die Evekation des Mondes (d.h. die Gezeitenwirkung der Sonne auf den Mond; sie ist unter zahlreichen Störungen die intensivste Störung). Beides war *Ptolemaios* ebenfalls bekannt. Diese Erscheinungen wurden als die drei Ungleichheiten bezeichnet, waren früh schon bekannt und galten als wesentliche Probleme der Astronomie.

100 Als *Alfons von Kastilien* um 1250 neue Planetentafeln (die „*Alfonsinischen Tafeln*“) erarbeiten ließ, mußte man die Epizykel beibehalten, so kompliziert sie nun auch geworden waren – *Alfons von Kastilien* soll diesbezüglich gesagt haben, wenn Gott ihn bei der Erschaffung der Welt konsultiert hätte, wäre die Sache einfacher geworden.

die allerdings tatsächlich außerordentlich schwierige Mondbahn zu erklären. Der muslimische Astronom *Ibn asch-Schatir* hat im 14. Jh sogar Epizykle auf die Epyzikel gesetzt und dafür den Äquanten eliminiert. Gegen diese Konstrukte ist *al-Haytham* (s.w.u.) aufgetreten.

Eine andere wichtige Vorbedingung für die Koordinierung und allgemeine Verwendbarkeit der astronomischen Beobachtungen war ebenfalls bereits entwickelt und zwar das Koordinatensystem – in geographischer Hinsicht durch *Dikaiarchos* aus Messina (s.w.u.) und in astronomischer Verwendung durch *Hipparch*, indem dieser seinen Standort im Norden von Rhodos zum Nullmeridian seines Koordinatensystems machte. Im 1. Jh nChr hat *Marinos von Tyros* die Glücklichen (= Kanarischen) Inseln für den Nullmeridian gewählt, die das westlichste damals bekannte Land waren. Zu Beginn der Neuzeit benötigte man exaktere Angaben und wählte den durch den Pic von Teneriffa laufenden Meridian, 1639 die Westspitze von Ferro (heute Hierro, in Frankreich durch die Ordonance vom 25. April 1674 angeordnet), was aber nicht allgemein akzeptiert wurde. Die Astronomen wünschten einen Nullmeridian, der durch wichtige Beobachtungsstationen laufe: Nürnberg, Uraniborg, Paris. 1675 wurde der Meridian durch das Observatorium in Greenwich gelegt, was seit 1884 international anerkannt ist.

2.3.3 Astronomische Geräte

In Alexandria sind die „klassischen“, z.T. bereits in Mesopotamien benützten astronomischen Geräte (s.o.) verfeinert worden. Zu ihnen trat noch

- das parallaktische Lineal, das den entsprechenden Winkel in einer Sehnentafel ablesen ließ
- die Armille, ein feststehender Ring in Meridianebene mit Gradeinteilung, auf dem ein zweiter Ring mit Diopter drehbar befestigt war, sodass man durch Anvisieren den Winkel ermitteln konnte; solche Armillen gab es in beachtlicher Größe, Eratosthenes benützte eine große Armille
- die Armillarsphäre: das sphärische Modell der Armille mit zwei fest verbundenen rechtwinkelig stehenden Kreisen (Meridian und Himmelsäquator), im Meridiankreis ein drehbarer Kreis in der Weltachse, darin ein vierter konzentrisch und verschiebbar mit Diopter, so konnte man auf einmal die Deklination und den Stundenwinkel ablesen
- das plane Astrolabium, das ein zweidimensionales Modell des Himmels auf Grundlage einer Projektion vom Südpol aus und damit letztlich ein analoger Rechner zur Lösung vielfältiger astronomischer Aufgaben ist, hat eine besonders vielfältige Entwicklung genommen hat; es ist eine Erfindung des Hellenismus und wird bei Ptolemaios beschrieben; seine eigentliche Entwicklung hat es aber erst im muslimischen Bereich erfahren, aus dem zahlreiche geräte und vor allem viele Traktate über die Handhabung des Geräts – schon aus dem 9. Jh – erhalten sind, die

in lateinischen Übersetzungen im Westen verbreitet wurden. Das Astrolabium besteht aus einer Reihe von Bestandteilen: die Grundplatte (Tympanon) gibt die astronomischen Koordinaten für die geographische Breite des Einsatzortes an (dem entsprechend waren bei Reisen über verschiedene geographische Breiten unterschiedliche Tympana notwendig); darüber befindet sich die drehbare Reta (auch Arachne) mit dem Kreis der Ekliptik, die die wichtigsten Fixsterne anzeigt; über dieser befindet sich – ebenfalls um die zentrale Achse, die den Himmelsnordpol darstellt, drehbar – ein Lineal (Alhidade, Diopter, Regula) mit dessen Hilfe bei senkrecht gehaltenem Astrolab (deshalb die Ösen zum Aufhängen am oberen Rand) die Visierung vorgenommen wird. Das Astrolabium ist mit den am Rand angebrachten Einteilungen ein vielseitig verwendbares Instrument, dessen Benutzung einiges an Kenntnissen verlangte.

- das Visierrohr, von dem wir wissen, dass in muslimischen Observatorien auch bereits in fester Montierung verwendet worden ist.

Hinzu kommt die Verbesserung der Zeitmessung mit Hilfe der durch *Ktesibios* und *Heron von Alexandria* verbesserten Wasseruhren.

In Summe ist festzustellen, dass mit *Ptolemaios* das geozentrische Weltbild mit der Planetentheorie der Exzenter und Epizykel als geltende Lehre für die Zeit bis *Kopernikus* definitiv etabliert war. Man verfügte über sehr beachtliche mathematische Fähigkeiten und Instrumentarien, es fehlte aber an den nötigen physikalischen Grundvorstellungen, die eine Bewegung der Erde erklärbar machen konnten.

2.4 Geographie in der Antike

2.4.1 Allgemeines

Per definitionem ist die Geographie „Erdbeschreibung“ bzw. „Erdkunde“ und damit die Wissenschaft von den Erscheinungen der Erdoberfläche, oder moderner: der Geosphäre, worunter man die sich durchdringenden und berührenden Teile von Erde, Wasser und Luft versteht. Ein Teil dieser Geosphäre ist die Biosphäre. Was die moderne Geographie ausmacht, entwickelt sich ursprünglich in verschiedenen Disziplinen und wächst erst im 19. und 20. Jh zu einer Disziplin zusammen.

In der Antike ist die Geographie nach den praktischen Erfahrungen der *Phönizier*, die wohl als erste weite Teile Europas erkundeten – sicherlich bis Britannien und Dänemark – und nach *Herodot* (Herodot, hist. 4, 42) auf Weisung des Pharaos Necho II., der eine Hochseeflotte baute und mit Phöniziern und Griechen bemannte, im Rahmen eines dreijährigen Unternehmens 596-594 vChr vom Roten Meer aus Afrika über Gibraltar zurück nach Ägypten umsegelten; der Bericht darüber gilt als glaubwürdig wegen der Aussage, die Seefahrer hätten die Sonne im Norden gesehen. Im Zusammenhang damit ist früh

evident geworden, dass man eine Schifffahrtsverbindung zwischen dem Mittelmeer und dem Roten Meer schaffen sollte¹⁰¹; Eigenständig haben die Karthager unter Hanno um 500 vChr eine Expedition durch Gibraltar an der Westküste Afrikas bis Kamerun bzw. Gabun geführt (*Text aus Periplus Hannonis*, in: *Geographi Graeci Minores I*, 1 - 14).

Von den **Griechen** wird die Geographie vielfältig betrieben, anfangs als Beschäftigung mit dem Schauplatz des menschlichen Wirkens; dann vor allem im Zuge der Erkundung von kolonisierbaren Küstengebieten, woraus der Typus des Periplous (Beschreibung einer Umschiffung) resultiert. Die geographischen Vorstellungen und Kenntnisse der griechischen Frühzeit kennen wir aus *Homer*, wobei allerdings nach wie vor keine Einigkeit darüber besteht, wo sich Odysseus wirklich herumgetrieben haben soll – es gibt sehr unterschiedliche Interpretationen der Odyssee, während sich die einen auf das Mittelmeer beschränken, gibt es andere, die die Insel der Kirke nahe den Faröer-Inseln und Skylla und Charybdis an der Westküste Schottlands erkennen.

Anaximander wird zugeschrieben, eine erste *Landkarte* erstellt zu haben, und von *Hekateios* von Milet (geb. um 550), sind einige geringfügige Fragmente einer *Erdbeschreibung* erhalten. Über erhebliche persönliche Kenntnis wenigstens des östlichen Mittelmeerraumes, des Vorderen Orients und Ägyptens verfügte *Herodot*, der auf Grund seiner Erfahrungen auf den weiten Reisen und wohl auch auf Grundlage der philosophischen Anschauungen von der Kugel als dem idealen Körper die *Idee* von der Kugelgestalt der Erde vertrat. Vom nördlichen Kleinasien berichtete *Xenophon* (430-355) in seiner „Anabasis“.

Pytheas von Marsilia (Marseille, einer griechischen Kolonie) hat um 330 v. eine Reise entlang der europäischen Westküste nach Norden bis in das Eismeer und Island (Thule) unternommen, die ihn bis in hohe Breiten, wohl nach Island und möglicherweise darüber hinaus und auch nach Schleswig (wegen des Bernsteins, des Elektrons der Griechen) geführt hat. In seinem Bericht, der nur fragmentarisch indirekt überliefert ist, ist von Tageslängen von 19 Stunden, von monatelanger Nacht, vom gefrorenen Meer, von den gewaltigen Tidenhüben Westeuropas (die er auf den Mond zurückführt) und vom Nordlicht die Rede – Aussagen, die so ungewöhnlich waren, dass sie damals offenbar unglaublich erschienen, weshalb *Pytheas* in der Folge auch von *Polybios* und *Strabon* als Lügner bezeichnet worden ist¹⁰².

101 So nahm Necho II. den Bau eines schiffbaren Kanals zwischen dem Nil und dem Roten Meer in Angriff, nachdem bereits unter Sethos I. und Ramses II. im 14. Jh vChr Kanalbauten im Gebiet des heutigen Suezkanals begonnen worden waren; der Kanal Nechos wurde von Dareios I. vollendet wurde und wurde bis in die römische Zeit und dann wieder von den Muslimen benutzt, bis er dann endgültig versandte und abhanden kam (der nächste, der einen derartigen Plan wälzte, war *Leibniz!*).

102 Der Bericht des *Pytheas von Marsilia* stand auch in Gegensatz zu der alten griechischen Sage von den Hyperboräern, die jenseits des Nordwindes leben sollten, ein herrliches Klima hätten, Feste feierten, nie krank würden und keine Feinde hätten. Und wenn die Hyperboräer des Lebens überdrüssig geworden seien, hätten sie sich lachend von einem hohen Fels in den Tod gestürzt. Die Geschichten von den Hyperboräern hielten sich bis in das 11. Jh nChr: *Adam von Bremen* nahm damals noch an, dass die Skandinavier die Hyperboreer wären.

Echte geographische Probleme in einem moderneren Sinne werden erst im letzten Drittel des 4. Jhs vChr, etwa der Zeit Alexanders dem Großen, z.B. durch dessen Admiral *Nearchos* angeschnitten, der von der Indusmündung in den Persischen Golf segelte. In Zusammenhang mit diesen Aktivitäten erlangte man offenbar erstmals Kenntnis von Taprobane (Ceylon). Bereits im Sinne einer physikalischen Geographie wirkten *Eratosthenes* und vor allem dann *Ptolemaios*.

Dem Mediziner *Hippokrates von Kos* im 4. Jh vChr wird die Entwicklung der Klimatheorie zugeschrieben, der die Vorstellung zugrunde liegt, dass die nach geographischen Breiten unterschiedlichen (in späteren Formen auch nach Höhen differierenden) Klimate – d.h. natürliche Gegebenheiten – spezifische Konsequenzen beim Menschen zeitigen, in körperlicher wie geistiger Hinsicht. Diese Auffassung hat bis weit in die Neuzeit herauf immer wieder neue Ausformungen und auch die Verknüpfung mit rassistischen Vorstellungen erfahren.

Einer der ersten, der nachweislich geographische Koordinaten verwendete, war der *Aristoteles*-Schüler *Dikaiarchos* aus Messina¹⁰³. Das geographische Koordinatensystem wird dann bei den alexandrinischen Geographen und insbesondere bei *Ptolemaios* als selbstverständlich angewendet.

Der erste, der alle diese Kenntnisse vereinigte und sie in wissenschaftlicher Hinsicht mit astronomischen Hilfsmitteln auch zu einem brauchbaren geophysikalischen Bild vereinigte, war

Eratosthenes von Kyrene (273-192 vChr)

(s. auch w.o.), der wohl als "Vater der (physikalischen) Geographie" bezeichnet werden darf. Als Mathematiker (Primzahlensieb) hat er die mathematische Geographie begründet. Er schrieb **Geographika** in 3 Büchern, das Werk ist leider nur aus Fragmenten bei *Strabon* bekannt und soll behandelt haben:

- 1 Geschichte der Geographie,
- 2 Mathematische und physikalische Geographie (Wasser, Vulkanismus und Erosion etc.),
- 3 Chorographie, also Landesbeschreibung, mit Karten, einschließlich völkerkundlicher und wirtschaftsgeographischer Bemerkungen, vor allem wird die alte Grenzziehung zwischen Griechen und Barbaren aufgegeben, es werden auch die Chinesen erwähnt Eratosthenes stellte eine erste Weltkarte mit Gradnetz her; gibt auch wirtschaftsgeographische und völkerkundliche Erörterungen.

Erdmessung, dieses Werk ist leider verloren. *Eratosthenes* ist vor allem durch seine Berechnung des Erdumfanges berühmt geworden, durch die er als erster die Kugelgestalt der Erde wissenschaftlich exakt bewiesen hat, indem er den Breitenunterschied zwischen Syene und Alexandria mit $7 \frac{1}{12}$ Grad = $\frac{1}{50}$ des Umfanges einer Kugel feststellte und daraus in Kenntnis der Distanz der beiden Orte (er hat offenbar

103375/350 – 285, er hat sich u.a. auch eingehend mit der Konstruktion von Parabeln und Hyperbeln befasst.

gerundet und einen Wert verwendet, der ihm aus verschiedenen Quellen bekannt¹⁰⁴) den Gesamtumfang berechnete, wobei ihm allerdings mehrere Fehler unterlaufen sind, die einander aber so gut wie aufhoben (Entfernung Alexandria-Syene stimmte nicht, auch die Zeit nicht, da Syene fast 300 km östlich von Alexandria liegt, außerdem liegt Syene etwas nördlich des Wendkreises). Über das Berechnungsergebnis gibt es verschiedene Aussagen, was allein schon durch die unterschiedliche Länge der verschiedenen Arten von Stadien begründet ist, die der Rechnung zugrunde gelegt worden sein können¹⁰⁵. *Eratosthenes* vertrat bereits die Anschauung, dass man, wenn man von Spanien aus nach Westen segle, nach Indien gelangen würde. (*Weltkarte nach Eratosthenes – Quelle*).

Krates von Mallos (2. Jh vChr)

Der Stoiker *Krates von Mallos*, der vor allem als Grammatiker hoch angesehen war, entwickelte – maßgeblich auf Grund seiner hohen Wertschätzung *Homers* als Geograph – abweichend von den gängigen Vorstellungen ein eigenes *Weltbild*: er sah den Globus in fünf Klimazonen gegliedert (symmetrisch um den Äquator): die Polarregionen hielt er wie die Äquatorialregion für die Besiedelung ungeeignet, womit nur die beiden gemäßigten Zonen als bewohnbar angesehen werden. Die Oikumene nimmt für ihn nur ein Viertel des Globus ein, den er sich durch einen meridionalen Ozean von Pol zu Pol und einen äquatorialen Ozean gegliedert vorstellt. Dem entsprechend postulierte er auf der Nordhalbkugel jenseits des Ozeans einen weiteren Kontinent, den er als Perioikumene bezeichnete. Symmetrisch dazu gliederte er die allerdings wegen der äquatorialen Hitze unerreichbare Südhalbkugel. *Krates von Mallos* folgerte richtig bezüglich der Jahreszeiten auf der Südhalbkugel. *Strabon* und *Geminus* erwähnen, dass *Krates von Mallos* um 150 vChr einen Globus angefertigt und öffentlich aufgestellt habe.

Die Vorstellungen des *Krates von Mallos* haben bis in die Frühe Neuzeit nachgewirkt.

Strabon (63 vChr – um 20 nChr)

hat selbst weite Reisen unternommen: Schwarzes Meer, Armenien, bis Äthiopien. Auch bestand zu dieser Zeit nach dem Alexanderzug bereits ständige Verbindung nach Indien hin, bis Ceylon und Südostasien; auch über die Seidenstraße dürften sich damals bereits Kontakte ausgeweitet haben. Auf dieser Grundlage seiner persönlichen Erfahrungen und seiner Studien schrieb er im Stile *Homers* und *Herodots* im Alter eine äußerst umfangreiche

104Es gab damals bereits beamtete Schrittzähler, die Länge des Nils war ziemlich exakt vermessen etc.

1051 Stadion konnte 148,5 / 157,5 / 185,6 Meter betragen, *Eratosthenes* rechnete mit dem ersten Wert, sein Fehler beläuft sich damit auf 7 %, hätte er den zweiten Wert verwendet, hätte der Fehler nur 1 % betragen.

– Geographika in 17 Büchern, die so etwas wie eine Enzyklopädie des damaligen geographischen Wissens ohne eigenen wissenschaftlichen Anspruch darstellt und nahezu vollständig erhalten ist – die im Erscheinen begriffene neueste Ausgabe ist (samt Kommentar) auf zehn Bände angelegt, von denen der Text fünf Bände einnimmt. Strabon berücksichtigt, mit soliden naturkundlichen, literarischen Angaben. praktisch schon alle Bereiche der Geographie: politische, historische, ethnographische Angaben, physikalische, mathematische Geographie, unter Berücksichtigung auch geologischer Fragen wie Erdbeben und Vulkanismus (Entstehung von Inseln wie Thera/Santorin, Vulkane werden gleichsam als Sicherheitsventile der Erde – weniger Erdbeben bei vulkanischer Aktivität – bezeichnet), der Bodenerosion und Hebungen und Senkungen ganzer Inseln, ja Kontinente. Er gibt zutreffende Erklärungen für Fossilienfunde (Muscheln auf Bergen). Strabon verweist darauf, dass seine Aussagen z.T. auf Berichten beruhen, über deren Qualität er wenig sagen könne.

Die unter seinem Namen laufende Weltkarte ist letztlich die des *Eratosthenes*. Für *Strabon* war es möglich, von Indien zu Schiff um Afrika in das Mittelmeer zu gelangen. Und er weist auf die mögliche Existenz einer großen Festlandsmasse im Westen Europas hin, was für *Kolumbus* eine wesentliche Anregung sein sollte.

Textauszüge unter *TU-Berlin* und *nubien.de*

Sein Werk, das als das gewaltigste in der Geographie der Alten Welt zu bezeichnen ist, ist allerdings im Altertum wenig beachtet worden.

Marinos von Tyros (fl. 114 nChr)

Von *Marinos von Tyros* haben wir nur aus den Erwähnungen bei *Ptolemaios* Kenntnis. Er soll eine Karte mit 7000 Orten geschaffen haben, die in Alexandria lag und von *Ptolemaios* benützt wurde (ihr Nullmeridian ging durch die Glücklichen Inseln (Kanaren). Das Projektionsprinzip ist rekonstruiert worden; es handelt sich um eine zylindrische Projektion, wobei der Zylinder jedoch die Erdkugel auf der Breite von Rhodos (36 Grad) schneidet und die Breitendistanzen nördlich davon gedehnt, die südlichen verkürzt werden. *Ptolemaios* ist dieser Projektion nicht gefolgt.

Klaudios Ptolemaios (120-nach 160) als Geograph

Ähnlich wie in der Astronomie (s.o.) hat *Ptolemaios* auch in der Geographie einen Schlussstrich unter die Entwicklung eines Faches in der Antike gezogen. Sein geographisches Hauptwerk ist die um 150 nChr erstellte „**Geographike Hyphegesis**“ samt der darin enthaltenen Weltkarte mit rund 8.000 Orten samt deren geographischen Koordinaten. *Ptolemaios* entwickelt seine kartographische Technik in drei Stufen

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Ptolemaios hat zwei Kartenprojektionen vorgeschlagen, darunter die quadratische Plattkarte, eine Zylinderabbildung mit längengetreuen Hauptkreisen (*Quelle*).

Er kann als der einflussreichste Kartograph der Weltgeschichte bezeichnet werden, da seine Karten das ganze Mittelalter hindurch bis an den Beginn der Neuzeit als Grundlage herangezogen wurden.

Der wichtigste Umstand dabei war, dass die Längenangaben bei *Ptolemaios* grob falsch sind¹⁰⁶, das Mittelmeer erstreckt sich über einen viel weiteren Teil des in dieser Breite gegebenen Erdumfangs als tatsächlich (62 anstatt nur 42°). *Ptolemaios* hat seine Karten nach den Nachrichten anderer gezeichnet, insbesondere hat er auf die Arbeiten des nur wenig vor ihm lebenden *Marinos von Tyros* zurückgegriffen. Die Umrisse der Landmassen stimmen (sieht man vom Indischen Ozean als Binnenmeer zwischen Asien und Afrika ab) einigermaßen, nicht aber die Entfernungen – dies deshalb, weil *Ptolemaios* (im Bemühen, durch die Bestimmung der geographischen Orte von Städten auf gesicherte Grundlagen zu kommen) die Entfernung zwischen seinen beiden "Eichungsstädten" (Karthago und Arbela in Assyrien am oberen Tigris) zu groß annahm, was den erwähnten verzerrungseffekt hinsichtlich der West-Ost-Erstreckung des Mittelmeers bewirkte und die Küste Asiens wesentlich näher erscheinen ließ, was auch *Kolumbus* in seiner Annahme bestärkte, die Ostküste Indiens entdeckt zu haben – *Kolumbus* ging von einem Erdumfang von etwa 28.000 km anstatt 40.000 km aus.

Obleich die Umrisse auf der ptolemäischen Karte einigermaßen zutreffen, besteht ein zweiter grober Fehler darin, dass Afrika¹⁰⁷ nach Osten abbiegt und sich mit Südostasien vereinigt, sodass der Indische Ozean zum Binnenmeer wird.

Das geographische Hauptwerk des *Ptolemaios* ist seine

– Geographike Hyphegesis, Geographische Anleitung zum Kartenzeichnen, die die Geographie mit der Kartographie vereinigt hat. Er gab in diesem Werk die geographischen Koordinaten von 8000 Orten an – damit konnte man seine Karte einigermaßen rekonstruieren und von den überlieferten Kopien etwas unabhängiger werden. In diesem Werk findet sich übrigens die erste Erwähnung der Friesen, der Langobarden, Sachsen und Sudeten. Es war das Standardwerk bis in das 16. Jh. – Bedeutend sind seine Kenntnisse in der Kartographie (orthographische und stereographische Projektion).

Ptolemaios verfügt über gute Kenntnisse Indiens inklusive Ceylons (Taprobane) und des Himalaya, nennt auch Sinai (= China?), gibt für 39 Orte die maximale Tageslänge an Er weiß mehr als etwa Mercator um 1600! und kennt auch einigermaßen den europäischen Norden. Weiters gibt er einen umfangreichen Katalog von geographischen Ortsbestimmungen, den Nullmeridian seiner Karte legte

106 Das Problem der Längenbestimmung war eines der großen Probleme der Seefahrt und der Kartographie, sie war abhängig von der Zeitmessung, weshalb die Royal Society als eine ihrer ersten Maßnahmen einen hohen Preis auf einen brauchbaren transportablen Chronometer aussetzte.

107 Afrika wird in jener Zeit noch als Lybien bezeichnet. Unter Afrika wurde ursprünglich Tunesien verstanden. Woher das Wort Afrika abzuleiten ist, ist unklar. Es könnte von griech. *aphrike* = unkalt, warm, lat. *apricus* 3 = sonnig, stammen oder von Afer = Punier abgeleitet sein.

er wie Marinus von Tyros durch die Kanarischen Inseln, wobei er einen erheblichen Fehler begeht, wie überhaupt seine Angaben wenig genau sind – Ptolemaios war selbst kein guter Beobachter und eher ein Geograph am grünen Tisch. Seine "Geographie" ist 1475 erstmals in lateinischer Ausgabe erschienen.

2.4.2 Geographie in Rom

Die Römer haben in theoretischer Hinsicht wenig geleistet; praktisch haben sie durch ihre Eroberungen die allmähliche Einbeziehung weiter Teile Europas und auch des westlichen Asien in die bekannten und auch z.T. durch die römischen Agrimensoren vermessenen Gebiete herbeigeführt.

In einer Fülle römischer Autoren finden sich natürlich geographische Partien und Nachrichten – *Caesar* und *Tacitus* haben durch ihre Schriften die Kenntnis vom Landesinneren Mitteleuropas wesentlich erweitert. *Tacitus* beschreibt den Polartag, hat aber offenbar keine Ahnung von der Kugelgestalt der Erde.

Seneca hat in den „*Naturales Quaestiones*“ sehr zutreffend die Erosion durch Wasser dargestellt und die Springfluten durch das Zusammenwirken von Sonne und Mond erklärt. Er behauptet auch, Nero habe eine Expedition auf die Suche nach den Quellen des Nils ausgesandt. Auch bei *Plinius d. Ä.* finden sich in der „*Naturalis historia*“ eingehende geographische Information nach dem Stand seiner Zeit. Eine knappe Beschreibung der bekannten Welt seiner Zeit lieferte *Pomponius Mela* (Mitte 1. Jh nChr) in Spanien.

2.4.3 Übergang in das Mittelalter - Frühmittelalter

In der Antike verfügte man über *itineraria adnotata*, schriftliche Routenbeschreibungen. Es ist nur ein einziges Beispiel eines *itinerarium pictum*, einer römischen Karte überliefert. Es handelt sich um eine Karte, die möglicherweise auf *Castorius* zurückführbar ist und die im 12. Jh vermutlich im Skriptorium des Klosters Reichenau angefertigt wurde und heute als Tabula Peutingeriana bekannt ist (*Römische Bernsteinstrasse*). Diese Karte (675 cm lang und 34 cm breit) beruht auf einer Vorlage aus der 2. Hälfte des 4. Jhs, die die damals bekannte Welt nach dem Prinzip einer Straßenkarte darstellt, in der die Distanzen zwischen wichtigen Orten eingetragen sind; sie weist 555 Siedlungen und rund 3500 andere geographische Angaben aus. Die Karte wurde von Konrad *Celtis* an *Konrad Peutinger* weitergegeben, der ihre Publikation einleitete, die allerdings erst 1598 erfolgte. Im weiteren Verlauf gelangte sie in den Besitz des Prinzen Eugen und über diesen in die Hofbibliothek, heute Österreichische Nationalbibliothek in Wien.

Die in der Antike erarbeiteten Kenntnisse von der Erde sind im christlichen Mittelalter nicht unwidersprochen übernommen worden.

Kosmas Indikopleustes (1. Hälfte des 6. Jhs)

der weite Teile des südlichen Vorderasien bis nach Somalia bereist hat und zumeist in Alexandria lebte, wandte sich (gegen besseres Wissen) gegen die Lehre von der Kugelgestalt der Erde und entwickelte aus der Bibel heraus eine *Topographia Christiana*, in der er „*die Welt als ein in zwei Stockwerke (unten die Erde mit der Sonne und den Gestirnen, darüber das Firmament und der Himmel) eingeteiltes Gebäude beschreibt, dessen biblischer Typos das Stiftszelt Mose' [...] ist [...]. Die Oikumene, eine nach Norden bis zu einem abschließenden Gebirge schräg ansteigende rechteckige Platte (Länge: 400 Tagesreisen von je 30 Meilen; Breite: 200 Tagesreisen), ist durch einen, sie umfließenden unbefahrbaren Ozean vom jenseitigen Land am Rande der Erdplatte getrennt [...]. Am östlichen Rande der Erdplatte befindet sich das Paradies, Ursprungsort der vier Ströme Pheison, Nil, Euphrat und Tigris [...], das als Aufenthaltsort der Gerechten bis zur Wiederkunft Christi dient. In den später hinzugefügten Büchern versucht Kosmas zu beweisen, dass die Sonne nur einen Durchmesser von vierzig Tagesreisen hat*“¹⁰⁹. Im 11. Buch beschreibt er die indischen Flora und Fauna und die Insel Ceylon. Ob er selbst in Indien gewesen ist, ist umstritten.

Kosmas Indikopleustes hat mit seiner skurrilen Kosmologie, derzufolge die Naturerscheinungen durch Engel bewirkt werden, die unaufhörlich die Gestirne, aber auch die Wolken etc. bewegen, den Widerspruch des Johannes Philoponos (und indirekt wohl auch dessen Impetustheorie mit) ausgelöst.

Beim **Geographen von Ravenna**, einem Goten, der im 7. Jh auf der Grundlage von römischen Itinerarien aus dem 5. Jh eine Kosmographie in fünf Büchern erarbeitete, in der eine Fülle von Orten genannt wird, ist die Erde eine Scheibe.

Unklar ist, welche Anschauungen Erzbischof *Virgil von Salzburg* in seinem „*Aethicus Ister*“ – einer Schmähchrift gegen *Bonifatius* – wirklich vertritt, ob er die Erde tatsächlich als Scheibe oder als Kugel ansieht. Die Kugelgestalt der Erde stand allerdings in weiterer Folge im Mittelalter außer Streit.

2.5 „Physik“

Eine Disziplin Physik im modernen Sinne ist erst im 19. Jh entstanden. Das Wort Physik bezeichnete ursprünglich die Beschreibung und Erforschung der körperlich-natürlichen Erscheinungen. Sukzessive bildeten sich dabei spezielle Bereiche aus, wie etwa die Astronomie, die Mechanik und die Optik, dann die beschreibenden Naturwissenschaften und schließlich die Chemie, die später zum Teil im Wege der Erkenntnis, dass es sich um auf eine einheitliche Grundlage zurückführbare Phänomene handle,

109Nach *Bautz*

gemeinsam mit später ausgeformten Bereichen (z.B. Elektrizitätslehre) in die Physik in einem modernen Sinne eingingen, teilweise (wie die Astronomie) ihre Selbständigkeit bewahrten.

Mechanik

Die Mechanik ist bei den Griechen noch vor *Aristoteles* auf Grund der Aufwärtsentwicklung der Mathematik gepflegt worden. Schwere und Bewegung werden behandelt, man erkennt, dass aus Reibung Wärme entsteht, *Anaxagoras* hatte ja daraus das Leuchten der Gestirne abgeleitet.

Aristoteles hat sich in der Mechanik auch mit den Hebelgesetzen befaßt, das Kräfteparallelogramm entdeckt, die Kreisbewegung als eine Bewegung nach dem Mittelpunkt und eine Bewegung in tangentialer Richtung definiert. *Aristoteles* hat sich in der Mechanik auch mit den Hebelgesetzen befaßt, hat das Kräfteparallelogramm entdeckt, die Kreisbewegung als eine Bewegung nach dem Mittelpunkt und eine Bewegung in tangentialer Richtung hin definiert.

Der wohl bedeutendste Vertreter dieses Bereiches in der Antike war

Archimedes von Syrakus als „Physiker“ (287-212)

Archimedes war mit seinen "Elementen der Mechanik" gleichermaßen Ingenieur, also Praktiker. Damit hängt wohl seine Entdeckung des Auftriebs, die den Beginn der Hydrostatik darstellt und auch die Entdeckung des spezifischen Gewichts einschließt, zusammen. **Das archimedische Prinzip hinsichtlich de Auftriebs, den Körper in Flüssigkeiten erfahren, ist das älteste unverändert heute als gültig erkannte physikalische Gesetz!**

Er verfasste auch eine Arbeit über das Schwimmen und die metazentrische Stabilität einiger Körper. Die Geschichte der Feststellung des **spezifischen Gewichtes** ist bei *Vitruv* folgendermaßen überliefert: König Hieron von Syrakus habe eine goldene Krone als Weihegabe anfertigen lassen und den Verdacht gehabt, der Goldschmied habe einen Teil des Goldes durch Silber ersetzt; und habe *Archimedes* beauftragt, das zu überprüfen. Als *Archimedes* beim Baden in der Wanne feststellte, dass die Wanne überging, als er hinein stieg, sei ihm die Erleuchtung gekommen, wie das Problem zu lösen sei – er sei aus der Wanne gesprungen und nackt zum König gelaufen, wobei er immer wieder "Heureka!" gerufen habe; *Archimedes* habe die Krone gewogen, gleich schwer Gold und Silber abgewogen; das durch Tauchen der Krone verdrängte Wasser und das durch den Goldklumpen bzw. den Silberklumpen verdrängte Wasser gemessen. Da die von der Krone verdrängte Wassermenge zwischen der vom Goldklumpen und vom Silberklumpen verdrängten Wassermenge lag, sei erwiesen gewesen, dass die Krone tatsächlich nicht aus reinem Gold sei. – Nach anderen Quellen soll *Archimedes* das Problem anders gelöst haben – indem

er den negativen Auftrieb¹¹⁰ gemessen habe (was schwer vorstellbar ist). Eingehend und kritisch hat sich *Galilei* in seiner Schrift „La Bilancetta“ (*Die Waage*) mit diesem Problem befasst.

Er tätigte eine Fülle von praktischen Erfindungen, die er teilweise spektakulär auswertete: Flaschenzüge, Hebelsysteme, die archimedische Schraube als Wasserpumpe (diese soll er in Alexandria erfunden haben), eine Fülle von Kriegsgeräten (darunter angeblich Brennspiegel gegen feindliche Schiffe¹¹¹), er entwarf ein riesiges Schiff, das sich Hieron bauen ließ und das 900 Personen getragen haben soll, er baute, wie *Cicero* überliefert, auch ein berühmtes Planetarium, das das Vorbild der späteren, spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Planetarien werden sollte.

Diese Arbeiten des *Archimedes* sind letztlich nicht fortgeführt, ja trotz seiner Berühmtheit teilweise nachgerade vergessen worden. Offenbar bestand nach wie vor kein wirklicher Bedarf an den mechanischen Neuerungen, die er erfand.

Archimedes hat die schon vor seiner Zeit bekannten Hebelgesetze zu einem logischen und theoretisch untermauerten System zusammengefasst, wobei er von zwei Axiomen ausgegangen ist: der symmetrisch belastete Hebel befindet sich im Gleichgewicht (nicht Kraft und Gegenkraft wie bei *Aristoteles*) und das Gesamtgewicht greift im Aufhängepunkt an.

Die erste Gesamtausgabe des *Archimedes* ist 1544 erschienen. Die wichtigsten Erkenntnisse des *Archimedes* sind erst in der Neuzeit gewürdigt worden – in so hohem Maße waren sie ihrer Zeit voraus.

Bewegungslehre

Die frühen Philosophen haben die Frage erörtert, was gewissermaßen das Grundprinzip von Bewegung sei. *Empedokles* nahm Liebe und Streit als bewegende Kräfte an, *Anaxagoras* nahm die göttliche Vernunft, den göttlichen Willen (*nous*) als Ursache an.

Eine überaus folgenreiche Position nimmt in diesem Zusammenhang *Aristoteles* ein: seiner über fast eineinhalb Jahrtausende folgenreichen Dynamik liegt die Auffassung zugrunde, dass die vier postulierten Elemente (Erde, Wasser, Luft und Feuer zuoberst unter dem Mond) im sublunaren Bereich ihren natürlich Ort hätten, zu dem sie hinstreben; die lineare Fallbewegung sei deshalb eine natürliche Bewegung, die keiner Erklärung bedürfe. Den (supralunaren) Himmelskörpern sei hingegen die Kreisbewegung im Äther naturgegeben. Alle anderen Bewegungen bedürften einer Ursache, und zwar nicht nur, um zu entstehen, sondern auch, um aufrechterhalten zu werden. Diese Ursache könne im Körper selbst liegen, wenn er eine Seele habe. Andernfalls ist eine (noch sehr vage verstandene) Kraft notwendig. D.h., für *Aristoteles* gibt es im Prinzip zwei Arten der Bewegung: natürliche und

110D.h. die Tendenz zum Sinken.

111 Über diesbezüglich angestellte Verifizierungsexperimente gibt es sehr unterschiedliche Aussagen.

erzwungene Bewegung¹¹²; und dies in Gestalt der supralunaren Kreisbewegung und der irdischen geradlinigen Bewegung. Wesentlich ist, dass Bewegung für *Aristoteles* ein Prozess ist, der zu seiner Erhaltung ständigen Anstosses durch Kraft („Energiezufuhr“) bedarf (bei *Newton* ist Bewegung ein Zustand, lediglich Veränderungen in der Bewegung sind Prozesse, die äußerer Einflüsse bedürfen). Es ist tragisch, dass *Aristoteles* das *Newtonsche* Prinzip erkannt und formuliert hat: *"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"* (*Aristoteles*, Physik IV 8), es aber – in Zusammenhang mit der Frage des Vakuums – verworfen hat.

Hinsichtlich der ersten Ursache von Bewegung sind bei *Aristoteles* zwei unterschiedliche Auffassungen zu finden: jene (mechanistische) des unbewegten Bewegers, der die Fixsternsphäre bewegt (und damit alle weitere Bewegung auslöst) und jene (animistische) Gottes, der Ursache und Bewegung zugleich ist, womit Bewegung ein Seinmodus aller Körper wird – *Aristoteles* kann man auf keine der beiden Denkhaltungen eindeutig festlegen¹¹³. Dieser Umstand hat der Interpretation der aristotelischen Schriften in Bezug auf die Dynamik Raum gelassen und vor allem in der Scholastik und in Zusammenhang damit in der historischen Betrachtung enorme Kapazitäten gebunden und es sind unzählige Interpretationen entwickelt worden und die Diskussion, wie *Aristoteles* Ortsbewegung verstanden wissen wollte, hält nach wie vor an.

Die überwiegend als Auffassung des *Aristoteles* verfolgte Vorstellung ist die mechanistische, die *Aristoteles* auf die irdische Bewegung anwandte und die als „peripatetische Dynamik“ bezeichnet wird und große Probleme aufwarf: wie bewegt sich ein Pfeil bzw. was bewegt einen Pfeil? Dafür hat man sich zumeist auf folgende Annahme gestützt:

1. Die Sehne als motor coniunctus dessen, der den Bogen spannt, bewegt den Pfeil, solange er mit ihr in direktem Kontakt steht;
2. Die Sehne bewegt aber auch die Luft um den Pfeil und überträgt ihr eine virtus movens; womit die Luft zum motor conjunctus wird;
3. Die Luft treibt den Pfeil weiter voran, bis ihr diesbezügliches Vermögen erschöpft ist.

112 *Aristoteles*, De caelo 301b 17-22: „Da aber die Natur das im Körper selbst vorhandene Prinzip der Bewegung ist, Kraft aber das in einem anderen als einem anderen vorhanden und jede Bewegung entweder naturgemäß oder gewaltsam ist, so wird eine naturgemäße Bewegung, wie etwa der Fall des Steines, durch die Kraft noch schneller werden und eine naturwidrige wird überhaupt nur durch sie entstehen.“ – nach Klaus-Jürgen Grün, Vom unbewegten Beweger zur bewegenden Kraft.

Der pantheistische Charakter der Impetustheorie im Mittelalter, Paderborn 1999, 91ff.

113 So Grün 99.

Aristoteles kennt keine *actio in distans*, keine fernwirkende Kraft. Daher ist die Erklärung des freien Falles artifizierlicher Körper (die keine *res animata* sind, die sich selbst bewegt, ihrem natürlichen Ort zustrebt) äußerst schwierig. Sie ist eigentlich erst in der Scholastik eingehend behandelt worden – man nahm ein nicht mehr ganz zu verstehendes "Gravitationsaccidens" an, das man als *generans* bezeichnete, das der Masse ihre Schwere verleihe¹¹⁴.

Aristoteles leugnet die Möglichkeit eines Vakuums (dieses wäre ein *locus sine locuto*, ein Ort ohne Örtliches, an dem sich nichts befindet)¹¹⁵ und begründet damit die Tradition des *horror vacui*, die mit der Theorie des Äthers (der Annahme einer *quinta essentia* über die vier Elemente hinaus) letztlich bis in das 20. Jh fortgeführt wird und auch die Frage der Atomistik berührte, da sich die Atome von *Demokrit* von Abdera ja im leeren Raum bewegen sollten, womit der leere Raum als die eigentliche Grundstruktur anzunehmen gewesen wäre, in der sich Materielles befindet.

Die peripatetische Dynamik (die nicht in allen Bereichen so widersinnig ist, wie sie uns heute auf den ersten Blick erscheinen mag) hat letztlich groteske Folgen gehabt; bis in das 16. Jh hinein herrschen über Geschossbahnen die skurrilsten Vorstellungen. Was der antiken Mechanik abging, war der Begriff der Trägheit. Ein weiterer Schwachpunkt war, dass man so sehr zwischen himmlischen und irdischen Bewegungen¹¹⁶ unterschied. *Aristoteles* ist in manchem zu sehr der Dialektik erlegen, wie er sie von *Sokrates* und *Platon* gelernt hat – obgleich gerade die Aufwertung der Empirie gegenüber der Dialektik seine wesentliche Leistung gewesen ist. Mitunter war er sich dieser Problematik wohl bewußt, einmal sagt er: "Noch sind die Erscheinungen nicht hinreichend erforscht. Wenn sie es aber dereinst sein werden, ist der Beobachtung mehr zu trauen als der Spekulation und letzterer nur insoweit, als sie mit den Erscheinungen Übereinstimmendes ergibt".

Aristoteles beschäftigt sich natürlich mit der Schwere, kommt aber zu dem irrigen Schluss, dass schwere Körper schneller fallen als leichte. Er hat offenbar kein diesbezügliches Experiment angestellt, ist aber bereits von *Philoponos* dafür angegriffen worden.

Die Griechen haben mit wenigen Ausnahmen den Schritt von der Naturbeobachtung zum Experiment nicht getan. Die peripatetische Dynamik lässt eigentlich sogar die einfache Naturbeobachtung vermissen – schon die genaue Beobachtung eines Wurfes hätte abhelfen können. Obwohl *Aristoteles* experimentiert hat, hat er das Experiment in seiner prinzipiellen und methodischen Bedeutung offenbar nicht erkannt

114Man vgl. dazu w.u. das Kapitel zur spätscholastischen Naturphilosophie.

115In einem Vakuum würden Körper – wäre nach der peripatetischen Dynamik ein Antrieb denkbar – sich letztlich augenblicklich von einem Ort zum anderen bewegen, da sie, ständig bewegt, unendlich hohe Geschwindigkeit erreichten – dies ist auch in der *Newtonschen* Mechanik so: in unendlicher großer Zeit würde ein Körper eine unendlich große Geschwindigkeit erlangen.

116Erstere kreisförmig, letztere linear. – In dieser Fixierung mag begründet sein, weshalb sich die Griechen, die es in der Astronomie so weit gebracht haben, keinerlei Versuch unternommen haben, die Dynamik der Himmelskörper zu ergründen. Sie haben sich damit nicht beschäftigt.

– der alexandrinische Neuplatoniker Johannes *Philoponos*¹¹⁷ (s.w.u.) wirft ihm in seinen „*Aristotelis physicorum libri*“ vor, dass dieser fälschlich angenommen habe, dass die Fallgeschwindigkeit in Proportion zum spezifischen Gewicht des Körpers stehe – „*Das ist aber völlig irrtümlich, und unsere Auffassung kann durch tatsächliche Beobachtung noch viel eindrucksvoller als durch verbale Argumentation bekräftigt werden. Lassen wir nämlich zwei Gewichte von der gleichen Höhe herabfallen, wobei das eine viel schwerer als das andere sein soll, so bemerken wir, dass das Verhältnis der zur Bewegung nötigen Zeiten nicht von dem Verhältnis der Gewichte abhängt: der Unterschied zwischen den Fallzeiten ist sehr klein*“. Die Ausnahmen, die uns bekannt sind, waren – angeblich – *Pythagoras*, der mit dem Monochord die Saitenlängen für bestimmte Tonhöhen bestimmt haben soll (sofern die Überlieferung auf Tatsächlichkeit beruht), möglicherweise *Empedokles*, dem ebenso wie *Straton von Lampsakos* (30-269) der experimentelle Nachweis der Körperhaftigkeit der Luft zugeschrieben wird, indem demonstriert wurde, dass Wasser eine oben abgeschlossene, senkrecht eingetauchte mit Luft gefüllte Röhre nicht auszufüllen vermag und umgekehrt (Stechheber). *Empedokles* vertrat überdies auch die Ansicht, dass das Licht sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreite, was er natürlich nicht beweisen konnte. Andere Beispiele gibt es im medizinischen Bereich.

Indem *Aristoteles* die Arbeiten seiner Vorgänger kritisch bewertete und zusammenfasste, war es auf Grundlage seiner überragenden Bedeutung für die weitere Zukunft die in seinen zusammenfassenden, systematischen Schriften vertretene Lehre, die bis in die Frühe Neuzeit hinein die Entwicklung bestimmte – in positiver wie in negativer Hinsicht¹¹⁸.

Optik

In der Optik revolutioniert er die Lehre vom Sehen, das vorher als eine Art Tasten mit unsichtbaren Fühlfäden verstanden wurde – die Inder betrachteten das Auge als ein feuriges Organ, der historisch nicht näher fassbare indische Arzt *Suschutra* tut dies hinsichtlich der Linse. Noch die Pythagoräer interpretierten das Sehen als eine Art heiße Ausdünstung des Auges auf den zu betrachtenden Gegenstand. Man empfand es als das eigentliche Problem, dass man keine physikalische Verbindung zwischen dem Gesehenen und dem Sehenden herstellen konnte. So entwickelte sich einerseits die Vorstellung, daß die Objekte Kopien, Abbilder ihrer selbst zum Auge aussenden – die *eidola*-Theorie, wie sie hauptsächlich von den Atomisteh vertreten wurde. Andererseits aber auch, dass vom Auge eine unsichtbare „Sehkraft“, Strahlen geradlinig und kegelförmig (mit der Spitze des Kegels im Auge) angeordnet auf das Objekt projiziert würden – als Analogie dafür kann ein Blinder mit einem Stock

117 Von ihm stammt eine Reihe von *Aristoteles*-Kommentaren; eine seiner grammatischen Schriften war im Mittelalter als Schulbuch verbreitet. Auch die älteste erhaltene Beschreibung des planispären Astrolabiums stammt von ihm.

118 Noch im 16. Jh finden sich in artilleristischen Druckwerken geradlinige Geschoßbahnen!

dienen; diese Auffassung schien durch die Geometrie gestützt zu werden und erklärte auch einigermaßen die Größenveränderungen in Bezug auf die Entfernung und schien auch das Problem des Spiegelbildes zu erklären, indem man annahm, dass die Sehstrahlen von glatten, polierten Flächen abgewiesen, abgelenkt würden wie Pfeile von einem Schild, wobei man durchaus auch mit einer Art Reflexionsgesetz arbeiten konnte. Unklar blieb natürlich wie man den Himmel und die Sterne sehen konnte¹¹⁹.

Die Emissionstheorie hat verschiedene Variierungen erfahren – *Platon* hat eine Verknüpfung zwischen Emission und dem umgebenden Licht herbeigeführt, was zu erklären schien, weshalb man trotz der taktilen Auffassung im Finstern nichts sehen konnte. Die Stoiker nahmen ein *pneuma* zu Hilfe, und *Galen* suchte diese Elemente unter medizinischen Gesichtspunkten zu verknüpfen.

Mit *Aristoteles* setzt die Loslösung den der taktilen Auffassung ein. Er stellt fest, dass die Lichtempfindung ebenso wie der Schall die Luft ein Medium zwischen Gegenstand und Auge benötige; aber man müsse nicht glauben, „*dass alles durch Berührung empfunden werde. Sondern es ist besser zu sagen, die Empfindung des Sehens erfolge durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Gesehenen und dem Auge*“. Das Innere des Auges ist für ihn deshalb durchsichtig, weil der eigentliche Ort des Sehens dahinter liege; die Farben hat er als Mischung von Schwarz und Weiß und vor allem als eine Eigenschaft der Körper bezeichnet, wie auch Helligkeit vonnöten sei. *Aristoteles* ist letztlich den Anhängern der Intromission zuzurechnen.

Eine eher eigenständige Auffassung gewann *Galen*, der sich abseits von mathematisch-physikalischen Aspekten mit solchen der Anatomie und Physiologie befasste.

Letztlich aber blieb das Auge in allen Theorien ein empfangendes, ein wahrnehmendes Organ.

Meteorologie

Aristoteles hat auch vier Bücher Meteorologie (lat. De caelo) verfasst. Der Begriff Meteorologie umfasst bei ihm alles, was sich „in der Schwebe“ befindet bzw. alle Erscheinungen im Luftraum zwischen Erde und dem Himmel¹²⁰. Die Meteorologie wird durch *Aristoteles* als empirische Disziplin begründet, nachdem sie zuvor philosophisch betrieben worden war.

Die atmosphärischen Erscheinungen einschließlich der Meteore und Kometen werden im Wesentlichen als Folge von „Ausdünstungen“ der Erde beschrieben. Erdbeben erklärt er durch eingeschlossene Luft. Ausführlich handelt er vom Regenbogen, den er als Reflexion des Lichtes an den als Spiegelchen wirkenden Regentropfen erklärt, wobei er natürlich die Farberscheinungen nicht zutreffend erklären kann. Wohl aber bemerkt er die Abhängigkeit des Regenbogens von der Sonnenhöhe. Weiters handelt er vom Mondregenbogen und künstlichen Regenbogen im zerstäubten Wasser.

119Vgl. Gül A. Russell, The emergence of physiological optics. In: EHAS II 672-715, 673-679.

120Also nicht wie heute primär die atmosphärischen Erscheinungen des Wetters, sondern auch Meteore, Kometen u.a.m.

Das vierte Buch der Meteorologie könnte ursprünglich selbständig gewesen sein und ist auch als „chemischer Traktat“ bezeichnet worden, da darin die Grundqualitäten warm, kalt, trocken, feucht in *Beziehung* zu den Elementen als Ursachen chemischer Umwandlungen bezeichnet werden.

Akustik

Dieser Bereich wird vor allem mit den Pythagoräern in Zusammenhang gebracht; *Pythagoras* werden Versuche mit dem Monocord zugeschrieben, die ihn auch die Grundgesetze der Harmonik geführt hätten.

Hippasos von Metapont (ca. 520-480, besser wohl um 450)

Hippasos führt akustische Experimente mit Metallscheiben und in verschiedenem Maße mit Wasser gefüllten Vasen durch. Er beschäftigte sich auch mit Proportionen und verwendete den Begriff "harmonisches Mittel". Er soll Erkenntnisse der Pythagoräer hinsichtlich der Frage des Inkommensurablen und des Umstandes, dass der Zwölfflächner sich der Kugel einschreiben lasse, verraten und dies mit dem Tod gebüßt haben.

Im Bereich der Akustik hat *Aristoteles* den Wellencharakter des Schalls und das Echo als einen Reflex erkannt.

Elektrizität

An elektrischen Erscheinungen war die Reibungselektrizität vor allem bei Bernstein bekannt, der (namensgebend) als „Elektron“ bezeichnet wurde. Es war aber auch das Elektrisieren mit Hilfe von Edelsteinen (*Theophrast*) bekannt, ebenso die elektrischen Eigenschaften des Zitterrochens, der wie *Plinius d. Ä.* schreibt, "mit unsichtbarer Kraft" lähmt. Der Blitz konnte natürlich nicht als elektromagnetisches Phänomen gedeutet werden¹²¹.

2.6 „Chemie“ in der Antike

Die Chemie ist ein Wissenschaftsbereich, dessen Anfänge erst im Mittelalter liegen. Im Altertum waren in diesem vor allem die Ägypter tätig – Alchemie. Der Bereich wurde dem Gott Toth, der Hermes entsprach, zugeordnet und daher als eine „hermetische“ Wissenschaft bezeichnet.

¹²¹Dass es sich bei den in den späten 1920er Jahren und um 1936 in Mesopotamien gefundenen und aus dem Späthellenismus oder aus der Spätantike stammenden „Tongefäße“ mit einem in einem Kupferrohr befindlichen Eisenstäbchen um „Trockenbatterien“ gehandelt habe, ist wohl nicht zu akzeptieren, da die allenfalls erzeugbare Spannung von etwa 0,5 Volt (ohne empfindliche Messinstrumente) gar nicht wahrnehmbar war.; es dürfte sich eher um Amulette gehandelt haben.

Die Griechen haben auf diesem Gebiet wenig geleistet. Das Wort „*chymeia*“ bedeutet im Griechischen eigentlich [Metall-]Gießerei. Die Bezeichnung „Chemie“ könnte aber auch aus dem altägyptischen bzw. koptischen „*kemi*“ (= schwarze Erde oder das Schwarze im Sinne eines Ausgangsmaterials für die Transmutation) kommen.

Reelle Kenntnisse wurden praktisch nur im Hüttenwesen entwickelt; man verarbeitete Eisen, Zinn, Zink, vor allem aber Blei und Edelmetalle; die Griechen und Römer auch Quecksilber. Mit Fragen der „Chemie“ befassten sich allenfalls die Praktiker wie Juweliere, in der Töpferei, Färberei, Gerberei, Kalkbrennerei etc. und auch die Ärzte in Hinblick auf Medikamente. Die einzige bekannte Säure war die Essigsäure.

Man kannte früh neun Elemente: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen, Schwefel, Quecksilber und Zink, dann auch Verbindungen von Zink, Arsen und Antimon. Weiters Pottasche, Ammoniak (aus dem Harn hergestellt) und Al-kohol in Bier und Wein. Es sind Anweisungen für den Umgang mit ihnen, auch „Rezepte“ in reichem Maße überliefert, die auf die handwerkliche Beherrschung hinweisen. Später kommt es zur Entwicklung von Legierungen; Bronze und Messing werden zur Nachahmung von Gold herangezogen. Die Herstellung, Färbung, Formung und Handhabung von Glas wird verfeinert.

Es wurde in diesen Bereichen ein hoher Standard der Fertigkeit, der praktischen Beherrschung von chemischen Vorgängen erreicht, ohne dass man sich allerdings mit deren Natur eingehender befasst hätte. Es sind uns aus dem Altertum keine chemischen Theorien überliefert, obgleich es welche gegeben haben dürfte. Wunschvorstellungen hinsichtlich der Imitation von Gold und Edelsteinen sind bereits für das 3. Jh vChr fassbar.

Was aber die theoretisch–philosophische Auseinandersetzung mit diesem Bereich anlangte, so war sie den Griechen ein Bereich, der in die Praxis niedriger Sklavenarbeit fiel, offenbar zu minder.

Die Hinwendung zur Alchemie vollzieht sich unter mystischem und astrologischem Einfluss ab etwa dem 2. Jh nChr in Alexandria. Das entstehende und im „*Corpus hermeticum*“ zusammengefasste Schrifttum wird rasch von den Muslimen übernommen.

Der erste Autor, der im Bereich Chemie/Alchemie einigermaßen fassbar ist, ist *Zosimus aus Panopolis* in Oberägypten, der um 400 nChr gelebt haben muss und 28 Lehrbriefe zur Alchemie verfasst hat, die allerdings nur in nicht mehr wirklich ordenbaren Fragmenten überliefert sind. Auch stammt von ihm ein Werk mit dem Titel „Über die Kraft“, dessen Inhalt ebenfalls alchemistischer Natur ist.

2.7 Mineralogie

Sie ist im Vergleich zum Bereich der Biologie, zur Zoologie und zur Botanik noch kaum entwickelt. *Theophrast* befasst sich mit ihr, der dazu auf die im Verlaufe der Zeit aus dem Hüttenwesen vor allem

gewonnenen Kenntnisse zurückgreift, wobei die großen Silberbergwerke Athens auf dem Laurion (etwa 2000 Schächte!) belangvoll waren, die zeitlich sehr weit zurückreichen¹²².

Letztlich ist die Entwicklung der Mineralogie ähnlich wie die der Chemie stark von der Praxis dominiert und kommt erst relativ spät – im Zusammenhang mit der Chemie – in Entwicklung.

2.8 Biologie

2.8.1 Voraristotelische Vorstellungen

Bei *Empedokles* (5. Jh) und anderen gibt es erste Äußerungen über die Natur der Pflanzen, dass sie durch die Blätter atmen, dass aus einem Teil des Samens die neue Pflanze entstehe, der Rest aber dem ersten Wachstum diene. *Empedokles* – nicht erst *Hippokrates von Kos* – fasst das physische System als durch das Gleichgewicht der Säfte (Blut, Schleim, Galle und Wasser¹²³) bestimmt auf (Humoralpathologie).

Aus dem Schlachten und Zerlegen von Tieren gewann man sukzessive anatomische Kenntnisse. *Demokrit* soll Sektionen von Tieren vorgenommen haben.

Dem spekulativen Denken der Griechen entsprechend kamen auch bald Anklänge an die Deszendenztheorie auf: *Anaximander* meint, alles sei aus schlammigen Blasen in der Sonnenhitze entstanden, aus denen sich fischartige Wesen gebildet hätten, von welchen einige auf das Land gekrochen seien und sich dort den Umständen angepasst hätten, schließlich sei aus ihnen der Mensch entstanden. Ähnlich dachte *Epikur*. *Lukrez* hat diese Anschauungen fortgeführt und gemeint, alles Unzweckmäßige gehe zugrunde.

So zutreffend manches an diesen Anschauungen auch ist, sie waren reine Spekulation!

Ein wichtiges Movens für die Beschäftigung mit der Natur war natürlich die **Medizin**, die die Natur für die Heilung von Krankheiten zu nützen trachtet – *Aristoteles*, der größte Naturforscher des Altertums stammte aus einer alten Ärztefamilie.

Aus der Schule der Pythagoräer entstammte *Alkmaion von Kroton* (Ende des 6. Jhs): er führte Sektionen durch, erkannte die zentrale Funktion des Gehirns, entdeckte die Nerven, insbesondere den Sehnerv, interpretiert den Glaskörper des Auges als eine Art Spiegel, der die Erscheinungen widerspiegelt. Er unterscheidet zwischen Wahrnehmen und Denken und erblickt in der Fähigkeit zum Denken den Unterschied zu den Tieren. Er kann wohl als ein „Begründer“ der Sinnesphysiologie angesehen werden, die als Thema seit ihm durchgehend behandelt wird. Er gab auch eine Theorie des

¹²²Ihre immer noch viel Blei und Silber enthaltenden Schlacken sind im 19. Jh neuerlich für die Erzgewinnung herangezogen worden.

¹²³Auch: Blut, Schleim, schwarze und gelbe Galle – ihnen entsprachen die 4 Elemente und später die 4 Farben der Alchemie: rot, gelb, weiß und schwarz, sowie die Zuordnung von astrologischen Elementen wie Tierkreiszeichen.

Schlafs. *Platon* und *Hippokrates von Kos* haben ihm die nachstehende Überlegung zugeschrieben: „Ist es das Blut, mit dem wir denken, oder die Luft, oder das Feuer? Oder ist es keines von diesen, sondern vielmehr das Gehirn, das die Tätigkeit des Hörens, Sehens und Riechens verleiht? Und daraus entsteht dann Gedächtnis und Meinung, und aus Gedächtnis und Meinung [...] das Wissen [...] Solange das Gehirn unversehrt ist, solange hat auch der Mensch seinen Verstand [...]. Daher behaupte ich, dass das Gehirn es ist, das den Verstand sprechen lässt.“

In der Folge waren es wesentlich die Mediziner, die die biologischen Kenntnisse ausgeweitet haben.

Im 4. Jh entstehen die beschreibenden Naturwissenschaften Zoologie und Botanik.

2.8.2 Die Zoologie des Aristoteles

Trotz seiner gewaltigen Leistung als Philosoph und Logiker liegt das Schwergewicht seiner wissenschaftlichen Arbeit im Bereich der Naturwissenschaften. Hier hat er zu allen Themen gearbeitet – von der Kosmologie bis zur Beschreibung der kleinsten Tiere und Pflanzen.

Wesentlicher Punkt seiner Philosophie war die Finalität, die Lehre von den Zweckursachen – die Vorstellung, dass der Materie, den Organismen ein bestimmter Zweck innewohne, auf den hin sie ausgeformt sind, der sie ihre Ziele erreichen lässt, indem er bestimmten Ausformungen bewirkt (Körperteile, Zähne, Krallen etc. – der Vogel hat Flügel, um zu fliegen), d.h. alle Anlagen sind a priori gegeben. Dies hat den Gedanken einer Evolution und der natürlichen Auslese lange verhindert und hat wie in anderen Bereichen bei *Aristoteles* auch das empirische Element der Behandlung des Stoffes eingeschränkt. Das Verfahren des Klassifizierens, also der Erstellung einer kausal/logisch gedachten Ordnung auf Grund vergleichender Beobachtung, ist von ihm eingeführt worden – es ist eines der grundlegenden Prinzipien von Wissenschaft und kommt durch *Aristoteles* in der Zoologie sehr früh ganz besonders zum Tragen.

Die Kategorie der Form ist für die Lebewesen mit dem identisch, was wir als Seele bezeichnen:

- die niedrigste Seelenstufe ist die vegetative = Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung = Pflanze; die animalische,
- die Tierseele kennt dazu noch die Empfindung,
- die rationale Seele des Menschen die Vernunft, wobei der Mensch alle drei Seelen in sich vereinigt.

Den Seelen kommt je ein spezifischer Zweck zu: der vegetativen das Wachstum, der animalischen die Bewegung, der rationalen die Kontemplation. Das Ziel der rationalen Seele liegt in der Erreichung höchster Vollendung, die durch Gott verkörpert wird, der der "unbewegte Bewegter" des Weltsystems ist – das *primum mobile* – ein theozentrisches System, das die Übernahme der Lehre des *Aristoteles* durch

das Christentum in der Scholastik erleichtert, wenn nicht erst ermöglicht hat. – Der Mensch ist Zweck und Mittelpunkt der Schöpfung, in ihm gelangt das göttliche Empfinden zum Bewusstsein.

Seinen innerhalb der Naturwissenschaften wichtigsten Beitrag hat *Aristoteles* im Bereich der **Zoologie** geliefert, seine Tierkunde¹²⁴, lateinisch *Historia animalium*¹²⁵, ist das bedeutendste zoologische Werk der Antike, das nicht nur eine Beschreibung der Tiere gibt, sondern auch auf den Bau und die Funktion der Organe einzugehen sucht und die Entwicklung und die Lebensweise berücksichtigt. Das Buch beginnt mit dem menschlichen Körper, dessen Kenntnis aber noch sehr gering ist, da man offenbar keine Sektionen menschlicher Leichen gewagt hat¹²⁶. Es ist auch klar, dass die physiologischen Fragen vor allem aus unserer Sicht weitgehend irrig sind, doch sind gerade diese Probleme erst im 19. und 20. Jh einigermaßen gelöst worden, als die Fortschritte in der Physik und vor allem in der Chemie entsprechend waren.

Verwunderlich ist, dass *Aristoteles* trotz andersartiger Ansätze zu seiner Zeit, auch die höheren Tierformen aus Urzeugung entstehen lässt. Manches ist völlig abstrus, wie etwa die Entstehung der Aale, die keine Fortpflanzungsorgane hätten, sondern in Tümpeln aus „Regenwürmern“ entstehen, die sich im Schlamm von selbst bilden¹²⁷. Gleichwohl hat *Aristoteles* andererseits äußerst präzise die Entwicklung des Huhnes im Ei beschrieben und festgestellt, dass sich der menschliche Embryo gleichermaßen entwickle.

Für *Aristoteles* sind die Tierformen verschiedene Stadien auf dem Weg zur Vollkommenheit, die im Menschen erreicht wird. Dennoch ringt er sich nicht zum nahe liegenden Gedanken der evolutionären Entwicklung durch, sondern verharrt in der statischen Auffassung. Er beschreibt etwa 500 Tierformen, die wir heute allerdings nicht alle verifizieren können, und versucht darüber hinaus – und dies ist seine bedeutende Leistung – sie in System zu bringen. Er hat bei 48 Tierarten Sektionen durchgeführt und ist der Begründer der vergleichenden Anatomie: er hat die Entsprechungen bei den verschiedenen Tierarten erkannt: Knochen-Gräte, Nagel-Huf, Hand-Schere, Feder-Schuppe etc.

Er unterscheidet Bluttiere und Blutlose¹²⁸, was im Wesentlichen auf Wirbeltiere und Wirbellose hinausläuft.

Die Wirbeltiere („Bluttiere“) werden gegliedert in:

124Das Wort Zoologie kommt bei ihm nicht vor. – Die „*Historia animalium*“ ist 1497 erstmals gedruckt worden; das Werk besteht aus 10 Büchern, von denen die Bücher 1-6 und 8 von *Aristoteles* stammen, die anderen unecht sein dürften.

125Der Begriff „*historia*“ ist hier noch in einem umfassenden Sinne, in etwa als „Beschreibung, Erkundung“ verwendet.

126*Aristoteles* kennt das Labyrinth, die *Eustachische Röhre*, die *pia* und die *dura mater* des Gehirns, das ihm allerdings ein Organ zur Kühlung des Blutes ist, und einige wesentliche Teile des Augapfels. Auch einige Drüsen hat er richtig erkannt und sogar bei Wirbellosen gefunden. Die Bedeutung des Fleisches, der Muskeln, war ihm unklar, er hielt sie für Empfindungsorgane. Für die Bewegungen machte er die Sehnen verantwortlich.

127Dazu ist freilich zu erinnern, daß die Fortpflanzung der Aale bis in das 19. Jh ungeklärt gewesen ist.

128Dabei ging er von der irrigen Ansicht aus, daß Blut rot sein müsse.

- lebend gebärende Vierfüßler = Säugetiere, sie gliedert er eher vage nach der Beschaffenheit der Füße (Einhufer, Paarzeher etc.) und des Gebisses.
- Vögel, er unterscheidet Raubvögel, Schwimmvögel und Stelzengeher und betont, dass sie als einzige Tierart wie der Mensch Zweibeiner seien
- eierlegende Vierfüßler = Reptilien und Amphibien, zu denen er richtigerweise auch die Schlangen rechnet
- Fische, hier weist er auf Flossen und Kiemen hin und weiß auch, dass einige Haie Lebendgebärer sind und dass ihre Föten wie bei den Säugetieren mit dem Uterus durch einen Mutterkuchen verbunden sind – ein Faktum, das erst im 19. Jh durch Johannes Müller wieder entdeckt worden ist, und
- Wale, für die er ausdrücklich angibt, dass sie Lungenatmer sind und lebendgebärend.

Bei den Wirbellosen („Blutlosen“) sind ihm

- die Kopffüßler am wichtigsten, die er auch sehr genau und treffend beschreibt,
- die Krebse werden als Weichschalige bezeichnet,
- die Kerbtiere bilden die dritte Gruppe, zu ihnen rechnet Aristoteles auch die Spinnen, die Tausendfüßler und Gliederwürmer. Er hebt hervor, dass sie dreiteilig gebaut sind, einen gerade zum After verlaufenden Darm haben und außer den Augen keine ihm erkennbaren Sinnesorgane. Sehr präzise und eingehende Aussagen macht er von den Bienen – erst im 19. Jh sind mit Hilfe des Mikroskops bessere gemacht worden.
- Schaltiere: Muscheln, Schnecken
- Seesterne, Seewalzen, Schwämme: sie werden als Mittelwesen hin zum Pflanzenreich betrachtet.

Der überragenden Einschätzung des *Aristoteles* entsprechend waren natürlich die Irrtümer des *Aristoteles* folgenreich – etwa seine Fehleinschätzung des Gehirns, die zwar in Alexandria bald korrigiert worden ist, aber vielleicht im Zusammenhang mit seiner Auffassung, dass das Herz der Sitz der inneren Wahrnehmung und der Intelligenz sei, doch die Entdeckung des Blutkreislaufs lange verhindert hat.

2.8.3 Botanik

Anders¹²⁹ als die Mineralien waren die Pflanzen seit Alters her eng in den menschlichen Erfahrungsschatz und damit in die nähere Betrachtung eingebunden, dienten sie doch als Nahrung und sehr früh auch als Heilmittel und der Mensch machte mit ihnen vielfältige positive und negative Erfahrungen.

¹²⁹Die Botanik zerfällt heute in folgende Bereiche: 1. Allgemeine Botanik: a) Morphologie, b) Physiologie, 2. Spezielle Botanik: a) Systematik, b) Geographie, c) Paläobotanik, d) Genetik, 3. Angewandte Botanik: a) pharmazeutische Botanik, b) Phytopathologie und weitere neuere Spezialbereiche wie Forstwesen, Gartenbau, Gärungstechnik etc.

Wie die meisten Wissenschaftszweige beginnt auch die Botanik bei den alten Griechen, genauer gesagt, bei *Aristoteles*. Seine "**Theorie der Pflanzen**" ist leider verloren gegangen, sodass wir nur wenig über seine diesbezüglichen Anschauungen wissen. Er hat jedenfalls die Wurzeln als Ernährungsorgane erkannt und gemeint, sie bedienen sich des Bodens wie die Embryonen des Uterus. Die Erde enthalte eine für die Pflanzen zubereitete Nahrung, während die Tiere gleichsam ihre Erde im Darm trügen, weshalb auch die Darmzotten als die inneren Wurzeln der Tiere bezeichnet werden. S. *Theophrast*.

Was *Aristoteles* in der Zoologie geleistet hat, hat sein Schüler

Theophrastos (371-285)

in der Botanik vollbracht, der Lieblingsschüler des *Aristoteles*, er stammte aus Eresos auf Lesbos. Wandte sich der Philosophie zu und ging nach Athen, wo er Platon und dann *Aristoteles* hörte, dessen Lykeion er übernahm, als *Aristoteles* nach Chalkis auswanderte. Obgleich er einmal wegen Gottlosigkeit angeklagt worden war, erfreute er sich größter Beliebtheit in Athen. *Theophrast* unterhielt einen eigenen botanischen Garten. Er war eine außerordentlich berühmte und angesehene Persönlichkeit, galt als einer der größten Redner seiner Zeit, soll angeblich 400 (nach anderen "nur" 200) Werke verfasst haben, und war ein höchst vielseitiger Empiriker, von dem *Sarton* meint, man würde – hätte es *Aristoteles* nicht gegeben – zweifellos sein Zeitalter nach ihm benannt haben. Erhalten sind seine großen botanischen Arbeiten

- *Peri phyton aition* – Die Ursachen des Pflanzenwuchses, praktisch ein Lehrbuch der allgemeinen und angewandten Botanik in 6 Kapiteln:
 - 1 Entstehung der Pflanzen aus Samen, Vermehrung, Wachstum, Pfropfen
 - 2 Der Einfluss von Wasser, Wind, Wärme, Boden auf Sprosse und Früchte; Epiphyten, Blatt-, Blüten- und Sprossbewegungen
 - 3 Acker-, Obst- und Weinbau, Palmen, Gartenblumen, Gemüse
 - 4 Samen, ihre Aufbewahrung, Keimung, Getreide, Hülsenfrüchte
 - 5 Veränderungen der Gewächse, Krankheiten und Tod
 - 6 Die Säfte der Pflanzen.
- „Geschichte“ der Pflanzen, besteht aus 9 Kapiteln
 - 1 Allgemeine Probleme, Terminologie
 - 2 Angepflanzte Pflanzen und ihre Pflege
 - 3 Wildwachsende Bäume
 - 4 Ausländische Bäume und Krankheiten der Bäume
 - 5 Eigenschaften und Unterschiede der Hölzer
 - 6 Sträucher

7 Gemüsepflanzen

8 Cerealien

9 Arzneikräfte der Pflanzen.

Es war das wohl größte Verdienst des *Theophrast*, eine einheitliche und brauchbare Terminologie eingeführt zu haben, die größtenteils heute noch in Verwendung steht: Wurzel, Stamm, Stengel, Ast, Rinde, Mark, Holz, Blatt, Stil, Frucht, Fruchtwand, Samen, Blüte, flachwurzellig, tiefwurzellig, Pfahlwurzel, bedecktsamig, nacktsamig. Erst *Jungius* hat sich 1678 in ähnlich eingehender Weise wieder mit der Terminologie befasst.

Theophrast, hat wie wohl andere Forscher auch, auf die eine oder andere Weise durch den Alexanderzug neues Material erhalten.

Theophrast besaß eingehende Kenntnisse der Flora eines riesigen Gebietes, das über den kleinasiatischen Raum hinaus auch Persien bis Indien reichte. Diese Großräumigkeit hat die Griechen auf die Pflanzengeographie verwiesen, die ihnen bis dahin nur hinsichtlich der Höhengliederung aus Griechenland selbst klar geworden war.

In seinen botanischen Arbeiten steht das praktische Interesse gleichwertig neben dem wissenschaftlichen – hatte man doch bis auf *Aristoteles* die Botanik nahezu ausschließlich im Sinne einer Heilpflanzenkunde betrieben. Langsam waren die Gewinnung von Holzkohle, Pech, Harz etc. hinzugekommen. Über die Sexualität der Pflanzen, die *Aristoteles* nicht bewältigt hatte, bleibt auch *Theophrast* im Unklaren, obgleich er die wesentlichen Vorgänge der Dattelpalmenzucht bzw. Dattelproduktion (künstliche Bestäubung der weiblichen Pflanze durch die Wedel der männlichen) richtig beschreibt¹³⁰.

Besser erging es ihm hinsichtlich der Morphologie, er gibt eine weitgehend zutreffende Beschreibung der wesentlichen Pflanzenorgane mit klarer Terminologie ein. Doch vermag er es nicht, ähnlich wie *Aristoteles* in der Zoologie eine Systematik zu schaffen. Er unterscheidet nur Bäume, Sträucher, Stauden und Kräuter und innerhalb dieser wilde und zahme. Lediglich bei den Kräutern werden einige Gruppen angedeutet.

Anatomisch versucht er, weitgehende Analogie zur Zoologie herzustellen, und spricht von Rinde, Holz und Mark als aus Fasern, Adern, Fleisch und Saft gebildeten Teilen.

Gegenüber der Anschauung der Urzeugung – auch für Bäume – verhielt sich *Theophrast* skeptisch und meinte, es seien wohl immer Samen angeschwemmt oder vom Wind oder Vögeln transportiert worden und meinte, die Fortpflanzung durch Samen, die dem tierischen Ei gleichen, sei normal. Gleichwohl stellt er die Urzeugung bei kleinen Pflanzen nicht in Abrede und glaubt, dass solche Pflanzen bei Zersetzungsprozessen unter dem Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit entstehen können.

¹³⁰Die Sexualität ist erst von *Rudolf Jakob Camerarius* in seiner Arbeit „*De sexu plantarum*“ 1695 erkannt worden.

Nach Theophrast, der auch über Mathematik, Astronomie, Mineralogie und Philosophie schrieb, sind in der hellenistischen und in der römischen Zeit die botanischen Kenntnisse in systematischer Hinsicht nicht weiter entwickelt worden, ja zurückgegangen; lediglich hinsichtlich der Heilpflanzen gab es Fortschritte – mit ihnen beschäftigten sich die Ärzte.

Dioscurides (1 Jh nChr)

Dioscurides bot in seiner Arbeit

- De materia medica eine Übersicht über alle damals bekannten Heilpflanzen – er verwendete dabei übrigens als erster das Wort botanike = Pflanzenlehre. Er hatte u.a. durch die Teilnahme an den Kriegszügen unter Claudius und Nero weitläufige Kenntnisse erlangt und fasste sie in den 5 Büchern der Materia medica zusammen, die uns in der berühmten Prachthandschrift in Wien überliefert sind:
 - 1 Spezereien, Salben, Bäume mit Milchsäften, Harzen und Früchten,
 - 2 Tiere, Honig, Milch, Fett, Getreide, Gemüse und Gewürze
 - 3 und 4 Kräuter
 - 5 Wein, Essig und Metalle.

Insgesamt werden 580 Pflanzen sehr sorgfältig beschrieben, ihr Gebrauch und ihre Wirkung angegeben. Bis in das 17. Jh war dies das Standardwerk. Im Sinne der wissenschaftlichen Botanik stellte es aber *Theophrast* gegenüber keine Verbesserung dar.

Ähnlich wie in anderen Disziplinen haben auch in der Botanik die Muslime umfassende Zusammenfassungen geschrieben, die allerdings relativ wenig Eingang in die christliche Welt gefunden haben

2.8.4 Medizin in der Antike nach Hippokrates

Medizin wird hier nur in Hinblick auf die Biologie behandelt

Wir wissen von hoher Spezialisierung der Ärzte in Mesopotamien und in Ägypten (s.o.). Auch war ihre Praxisausübung gesetzlichen Regelungen und Verpflichtungen unterworfen, so z.B. im Codex Hammurapis. Zahlreiche Quellen unterrichten uns über Behandlungsmethoden und Medikamentierung.

In Griechenland entsteht unter dem Einfluss der Naturphilosophie erstmals eine rationale Medizin, die in enger Verbindung steht mit den sich entwickelnden naturwissenschaftlichen Betrachtungen. Von

zentraler Bedeutung sind *Hippokrates von Kos* und sein Umfeld und dann später das hellenistische Alexandria, wo man auch Sektionen vorzunehmen wagen konnte¹³¹.

Eine der wichtigsten Quellen zur griechischen Medizin ist das **Corpus Hippocraticum**¹³², dessen Werke freilich nicht alle das Werk des berühmten Arztes sind. Es handelt sich um eine Sammlung von Arbeiten aus der Zeit vom 5. bis zum 2. Jh vChr, dementsprechend stammen nur wenige der zahlreichen Arbeiten von *Hippokrates von Kos* selbst. Die Sammlung enthält u.a. den Hippokratischen Eid, Beiträge wie „Über die Krankheiten“, Prognosen, Epidemien, Über die Heilige Krankheit, Über die Natur des Menschen, Aphorismen, Über die Frauenkrankheiten, Über die Umwelt, Die Knochenbrüche, Der Arzt, Das Gesetz, Die ärztliche Kunst, Die Winde, Die alte Heilkunst, Über die Regelung der Lebensweise.

Hippokrates von Kos (460-380)

Über die Biographie des einen, „des berühmten“ *Hippokrates von Kos*¹³³ – es gab insgesamt sechs Ärzte gleichen Namens! – ist sehr wenig bekannt, obgleich er so berühmt und angesehen war, dass sogar Herrscher zu ihm kamen; die Athener holten ihn, auf dass er eine Seuche eindämme.

Am ehesten hatte man anatomische Kenntnisse im Bereich des Skeletts. Am geringsten waren die Kenntnisse hinsichtlich des Nervensystems, das man anfänglich mit den Sehnen zusammenwarf; man erkannte erst nach und nach den Sehnerv, die Gehörnerven und den Trigemini. Die Steuerung des Körpers schrieb man dem Pneuma zu, das als vom Gehirn durch die Adern ausgehend gedacht wurde¹³⁴.

Wichtig ist, dass *Hippokrates von Kos* die psychischen Störungen als Wirkungen physischer Krankheitszustände auffasst. *Hippokrates von Kos* gibt auch prophylaktische Maßnahmen an: maßvolles Leben und Hygiene; die Gicht wird auf Wohlleben zurückgeführt. Musik wird als therapeutisches Mittel erwähnt. Als therapeutische Maßnahmen gibt er häufig Diät, Fasten, Bäder, frische Luft, Massage an. –

131 „In den antiken Hochkulturen galt die Leiche als etwas Unantastbares, der eine besondere Stellung und Schutz zugestanden wurde. Allerdings wurde bei Leichen von Personen, die mit dem Tode bestraft wurden, von dieser Unantastbarkeit häufig abgewichen, d. h. sie durften in Einzelfällen für anatomische Zwecke verwendet werden. Bei den Griechen und Römern galt das Unbeerdigtsein als eine der schlimmsten Strafen, Leichen mussten schnellstmöglich verbrannt und deren Asche begraben werden. Auch war es religiöse Pflicht, jeden zufällig gefundenen menschlichen Knochen mit Erde zu bestreuen und ihm damit zumindest symbolisch ein Begräbnis zuzugestehen. Das Bestreben, Leichen möglichst schnell zu "beseitigen" ist auch später erhalten geblieben, wobei dann aber nicht nur religiöse, sondern auch hygienische Gründe ausschlaggebend gewesen sind „(www-Quelle).

132 8 Bücher über Grundfragen der Medizin, 10 über Anatomie und Physiologie, 2 über Diät, 10 über Pathologie, 2 über Therapie, 8 über Chirurgie, 1 Augenheilkunde, 10 über Gynäkologie und Geburtshilfe. Sicher ihm zuzuschreiben sind: Schrift über die Epilepsie, Schrift über den Einfluß von Luft, Wasser und Klima auf den Organismus, über Diät, über Kopfwunden, über die Prognose akuter Erkrankungen, über Epidemien sowie eine Streitschrift zur Verteidigung der empirischen Methode der Medizin. *Hippokrates von Kos* selbst hat an die 42 Krankengeschichten mitgeteilt, 25 davon letal, einige über einen Zeitraum von 120 Tagen!

133 Kos war ein Thermalheilbad, in dem damals der angesehene Arzt Herodikos wirkte, der sich insbesondere mit Diätik und Gymnastik beschäftigte; Hippokrates von Kos war sein Schüler.

134 Das Herz diente nach *Platon* der Verknüpfung der Adern und wird durch die Lungen gekühlt.

Hippokrates von Kos bezeichnete die Medizin als eine *techne*, was in weiterer Folge mit *ars* übersetzt wurde¹³⁵.

Unter dem Aspekt der Genießbarkeit hat *Hippokrates von Kos* ein System der Tiere erstellt (50 Arten bis zu den Krebsen, keine Reptilien und Insekten etc., da diese nicht verzehrt wurden).

Des *Hippokrates von Kos* wesentlichste Leistung war es, die Medizin vom Aberglauben und von der Religion abzulösen und auf eine rein rationale, "naturwissenschaftliche" Grundlage gestellt zu haben. Ein Beispiel dafür ist seine Beschreibung der Epilepsie, die ja bis in die Neuzeit als "heilige Krankheit" bezeichnet worden ist; dies hat *Hippokrates von Kos* mit Entschiedenheit als Unsinn zurückgewiesen und sie als eine Krankheit wie jede andere auch bezeichnet. *Hippokrates von Kos* wendet sich scharf gegen die Philosophen und ihre Lehre von den Elementen.

In besonderer Weise hat sich *Hippokrates von Kos* um das Ethos der Medizin verdient gemacht. Der nach ihm benannte *Eid* ist allerdings möglicherweise schon vor ihm entstanden.

Im Hellenismus kommt es auf griechischer Grundlage zur Entwicklung sehr beachtlicher medizinischer Kenntnisse; ihre Praxis war – auch im Westen – fest in griechischer Hand. Es soll an dieser Stelle als Beweis für die unerhörte Bedeutung der Medizin dieser Zeit daran erinnert werden, dass die medizinischen Ausdrücke auch heute noch zum weitaus überwiegenden Teil aus dem Griechischen kommen – nicht aus dem Latein! Wir wissen von der Ausbildung in Facharztbereichen wie Sportmedizin, Militärmedizin etc. Auch gab es große Kurorte, im Wesentlichen an Thermalquellen.

Es standen einander die dogmatische, philosophisch-spekulativ orientierte Schule und die am Serapeion in Alexandria ausgebildete empirische Medizin gegenüber, die für die weitere Entwicklung natürlich ausschlaggebend war.

Unter den Ptolemäern wurden Sektionen nicht nur erlaubt, sondern sogar gefördert. *Praxagoras von Kos* (um 370 v. Chr.) und seine Schüler *Herophilos von Chalkedon* (315-250) und *Erasistratos* (310-250) haben im eigentlichen Sinne als Anatomen geforscht. Ihre Werke sind allerdings mit der Bibliothek in Alexandria verloren gegangen und wir kennen nur Fragmente aus Zitaten in späteren Werken: *Praxagoras von Kos* bezeichnete die wie das Herz schlagenden Gefäße bereits als Arterien. *Herophilos von Chalkedon* als Anatom und *Erasistratos* als Anatom und Physiologe kommt das Verdienst zu, die Anatomie im eigentlichen Sinne des Wortes begründet zu haben.

Erasistratos, ca. 305 – ca. 250

gilt als Begründer der Physiologie und der vergleichenden und pathologischen Anatomie. Er war Anhänger des *Demokrit* und legte den Lebensvorgängen mechanische Ursachen zugrunde. Als erster

¹³⁵Daher rührt die spätere, letztlich missverständliche, Bezeichnung als „Kunst“.

hat er energisch die Humoralpathologie verworfen und bekämpft. *Erasistratos* soll 600 Sektionen durchgeführt haben. Er untersuchte menschliche und tierische Körper, differenzierte bereits zwischen Bewegungs- und Empfindungsnerven und beschrieb die Herzklappen. Dass er zum Tode Verurteilte viviseziert habe; ist umstritten. Er kam der Entdeckung des Blutkreislaufs sehr nahe, glaubte allerdings, die Arterien seien mit Luft gefüllt. Er beschäftigte sich auch mit dem Herzen, mit den Hirnwindungen und unterschied bereits richtig zwischen motorischen und sensorischen Nerven.

Er legte großen Wert auf Prophylaxe, körperliche Tätigkeit, Diät und Hygiene.

Herophilos von Chalkedon (ca. 325 – ca. 255)

wirkte zur Zeit des *Euklid* in Alexandria, gilt als einer der Begründer der Anatomie und war auch ein bedeutender praktischer Arzt. Er führte öffentliche Sektionen an menschlichen Leichen durch, tätigte zahlreiche anatomische Entdeckungen, schuf neue Methoden und vor allem eine eigene Terminologie¹³⁶. *Herophilos von Chalkedon* hat verschiedene Teile des Gehirns beschrieben: Hirnhaut, Hirnkammern, die großen Blutleiter im Schädel, Hirn- und Rückenmarksnerven. Er war der erste, der Arterien und Venen klar unterschied, die Lungengefäße nannte er arterische Venen, er machte bereits Angaben zum Auge, dem Zwölffingerdarm, der Haut und den Eileitern. Schrieb

- Anatomische Fragen. Er benannte den Zwölffingerdarm, beschäftigte sich auch mit den Genitalien. *Herophilos von Chalkedon* führte Messungen an Gesunden und Kranken durch, die er schriftlich niederlegte und mitteilte. Er hat die wesentlichen Fehler des *Aristoteles* überwunden und die wahren Funktionen des Gehirns erkannt – heute noch erinnern *Torcular* und *Calamus Herophilii* an ihn. Auch kam er der Entdeckung des Blutkreislaufs sehr nahe und erkannte allgemein die Funktion der Nerven. Er seziierte – im Zusammenhang mit dem Auge – den Sehnerv..
- Über den Puls: für die Pulsmessung, deren klinische Bedeutung er erkannte, setzte er die Wasseruhr ein.

Wir wissen von drei Büchern Anatomie und einem Handbuch für Hebammen. Erhalten ist jedoch nichts.

Klaudios Galenos aus Pergamon (129-199)

Galen war der bedeutendste Arzt neben *Hippokrates von Kos* im Altertum und entspricht in seiner Stellung und Wirkung *Euklid*, *Ptolemaios* etc. Er lebte zeitweise in Rom bzw. in Aquileia als kaiserlicher Leibarzt von Marc Aurel. Er ist die medizinische Autorität bis in die Neuzeit – dazu hat vermutlich auch seine Nähe zum Christentum beigetragen. Noch in der 1.H. d. 19. Jhs erschien, was von seinen etwa 250 Schriften (400 Schriften?) erhalten ist – etwa ein Drittel – in 22 Bänden neu, und zwar für

¹³⁶Die Bezeichnung Zwölffingerdarm geht z.B. auf ihn zurück.

Ausbildungszwecke! Die erhaltenen Schriften beschäftigen sich vor allem mit Fragen der Anatomie und der Physiologie.

Galen vertrat, auf *Empedokles* zurückgreifend, die Lehre von einer Lebenskraft, „*Physis*“, die im Gehirn als dem Zentrum des Lebens und dem Sitz der Seele als „*Pneuma psychikon*“ für die Empfindungen und Bewegungen verantwortlich und von Geburt an vorhanden ist. Im Herzen verleiht sie als „*Pneuma zooikon*“ dem Körper die Wärme, die durch die Atmung ständig ergänzt und über die Gefäße im Körper verteilt wird. In der Leber bewirkt sie als „*Pneuma physikon*“ die Blutbildung, lenkt die Ernährung und das Wachstum und ermöglicht die Fortpflanzung. Das Blut, so meinte *Galen*, wird aus der Nahrung gebildet, während die Nahrungsüberschüsse in Galle umgebildet werden, in der Leber selbst in gelbe Galle, über die Milz dagegen in schwarze Galle.

Mit der Pneumalehre eng verbunden waren daher auch *Galens* Vorstellungen von der *Blutbewegung*: die Milz entzieht dem Nahrungsbrei unbrauchbare Bestandteile und bildet daraus die schwarze Galle, die in den Magen gelangt und mit den unverdaulichen Bestandteilen der Nahrung den Magen- und Darmkanal verlässt. Der übrige Nahrungsbrei gelangt zur Leber. Aus den verwertbaren Bestandteilen der Nahrung entsteht durch Mischung mit den vier Säften Schleim, Blut, gelbe und schwarze Galle das neue Blut. Die nicht verwertbare Nahrung wird über die Nieren und die Harnblase ausgeschieden. Das in der Leber gebildete Blut fließt nur in einer Richtung. Es gelangt durch die antreibende Kraft der Leber und durch die anziehende Kraft der Gefäße in die Körperperipherie und schließlich zur rechten Herzhälfte. Von hieraus gelangt ein Teil des Blutes in die Lunge, um dort von Schlacken befreit zu werden. Das restliche Blut fließt zum Kopf, in die Arme oder durch feine Poren in der Herzscheidewand in die linke Herzhälfte. Hier nimmt es das durch die Atmung in den Körper gelangte *Pneuma* auf und gelangt über die Aorta in den Körper, einschließlich des Gehirns, dem also stets das an *Pneuma* reiche Blut zugeführt wird. Im Körper dient das Blut dem Aufbau der Organe und Gewebe und wird dabei verbraucht. Die anfallenden Abbauprodukte bilden den Schweiß.

Diese Vorstellungen *Galens* unterscheiden sich gänzlich von der späteren Lehre des Blutkreislaufes. Bei der Verbindung seiner teleologischen Vorstellung mit der Medizin sah *Galen* das Primat der Determiniertheit in der Physiologie, der die anatomische Struktur zweckentsprechend unterworfen sei. Er erkannte zwar einen Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion, war aber der Meinung, dass die Struktur von der zielgerichteten Funktion abhängig wäre. *Galen* beschäftigte sich mit der Nierenfunktion, u.a. aber auch mit den Träumen, die er für medizinisch bedeutsam hielt. Er hing der Lehre von den drei Seelen an.

Galen war auf praktisch allen Bereichen der Medizin tätig und neuernd, ohne jedoch über die Maßen originell zu sein. Er seziierte offenbar nur Tiere, hatte aber als Gladiatorenarzt zweifellos große anatomische Kenntnisse aus seiner furchtbaren Praxis. *Galen* wird als großer Enzyklopädikler und Systematiker eingeschätzt, auch als blendender (aber geschwätziger und eitler) Schriftsteller – er

bezeichnete sich selbst als den letzten großen Arzt. Ab 1490 erschienen seine Werke in zahlreichen Ausgaben und Übersetzungen, sie waren aber auch im Altertum und im Mittelalter weit verbreitet. *Galen* war bis in das 17. Jh wirksam und war auch einer der größten Philosophen der Medizin überhaupt.

Medizin in Rom

Die Römer haben sich in der Medizin betätigt, nachdem *Asklepiades aus Bithynien* (+40 vChr) in Rom eine Schule eröffnet hatte, aus der auch *Celsus* hervorging, der um 30 nChr sein großes Werk „*De Medicina*“ verfasste. Unter Vespasian wurde der Unterricht für Militärärzte intensiviert, indem die Lehrer vom Staat bezahlt und auch in den Provinzen Ausbildungsstätten eingerichtet wurden. Eine systematische Weiterführung der medizinischen Kenntnisse erfolgte nicht.

2.9 Angewandte Wissenschaften

2.9.1 „Ingenieurwesen“

Schon aus der früheren Zeit sind beachtliche Leistungen bekannt, die freilich meist vereinzelt blieben und von denen manche vielleicht auch sagenhafter Natur sind: der Bau einer Schiffsbrücke über den Bosphorus für die Perser im Krieg gegen die Skythen, der Bau von Wasserleitungen mit einem 1 km langen Tunnel durch einen Berg, die Erfindung von Anker, Blasebalg und Töpferscheibe, das Löten von Metall, die Entwicklung der Wasserwaage, der Drehbank, des Schlüssels etc.

Mechanisch bedeutungsvolle Leistungen größeren Stils waren später die Wasserhebwerke für Bergwerke, die athenischen Trieremen, der Bau von großen Kränen mit Treträdern, wie sie auch im Mittelalter noch in Verwendung waren, und von Göppelmühlen, aber auch Leistungen in der Waffentechnik.

Was die **Energiequellen** anlangt, so hat man im Wesentlichen auf Menschenkraft (Tretrad) und auf Tiere wie Ochsen und Pferde zurückgegriffen. Wasserkraft ist vor dem 1. Jh vChr kaum verwendet worden, obgleich die Technologie bekannt war – es war im Mittelmeerraum das nutzbare Wasserangebot eher gering; man betrieb damit Mühlen und möglicherweise hin und wieder auch Sägen, sogar für Speckstein (*Plinius d. Ä.*). Dampfkraft war zwar ab dem Hellenismus bekannt, wurde aber nirgendwo praktisch verwendet. Windkraft wurde primär zum Segeln verwendet; *Heron von Alexandria* betrieb mit Windkraft ein *Orgelgebläse*, wobei er sich einer Nockenwelle bedient.

An Standardgeräten waren das Rad, Winden und Kurbeln und damit auch Kräne mit Laufrädern, Flaschenzüge und Hebel sowie Rampen allgemein verbreitet.

Große Leistungen wurden früh im Wasserbau (Aquädukte samt Dückern) und im zugehörigen Stollenbau erbracht; beide erforderten gute Vermessungsleistungen. Geschlossene Leitungen wurden

aus Blei oder aus Ton hergestellt. Der Wasserverbrauch wurde in den Leitungen mit Hilfe von Düsen gemessen, die auf die Fließgeschwindigkeit reagierten.

Eine besondere Vielfalt entwickelte sich im Bereich der Wasserpumpen für die Landwirtschaft mit *Treträdern*, aber auch für Schiffe als Lenzpumpen und für Bergwerksentwässerungen (im Bergwerk *Rio Tinto*, acht Räderpaare übereinander mit einer Förderhöhe von 30 m – Eimerwerke, wie sie noch im Mittelalter verwendet wurden, wobei man Eimerräder und auch Eimerketten mit sechskantigen Wellen verwendete), archimedische Schrauben und auch „[http://www.wasser.de/inhalt.pl?kategorie=2000118::hydraulische Widder](http://www.wasser.de/inhalt.pl?kategorie=2000118::hydraulische%20Widder)“, die ja ebenfalls heute noch gelegentlich zum Einsatz kommen (**Abb.: Landels 16 S. 82**). Bekannt ist die doppelt wirkende „*Feuerspritze*“ des *Ktesibios*, die ja im Prinzip bis in das 20. Jh im Einsatz war. Es gibt aber auch Belege für höchst komplizierte Pumpen mit Ventilen aus Bronze, die von geradezu feinmechanischer Metallbehandlung zeugen (Schleifen mit Polierpaste etc.).

Besondere Leistungen wurden auch damals schon in der Entwicklung der Waffentechnik erbracht: es sind hier vor allem zu erwähnen die Schiffs- als solche und die Schusswaffen.

Bogen wurde früh in zusammengesetzter Bauweise hergestellt – Holz und Horn (waren aber keine Kompositbogen im Sinne der späteren asiatischen Bogen). Indem sie vergrößert und mit mechanischen Spannvorrichtungen versehen wurden, entstand die Armbrust („Bauch-Schusswaffe“), die bis in die Neuzeit in Europa wie in Asien verfeinert worden ist und sehr früh schon eine außerordentlich wirksame Schusswaffe war, die lange auch Feuerwaffen überlegen blieb – *Heron von Alexandria* gibt eine genaue Anleitung zum Bau einer derartigen Waffe, der hohes technischen Können verlangte. Die Katapulte wurden vermutlich im Wege der Vergrößerung des Bogens bzw. der Armbrust entwickelt. Eine andere Technik wurde bei den Torsionskatapulten angewendet. Das Hauptproblem bei diesen Konstruktionen lag bei der Beschaffung des für die Torsionsfedern nötigen Materials – Tiersehnen (höchst problematisch: wie stellt man aus den kurzen Stücken Seile her?) und Haare (Pferdehaare und Frauenhaar – zahlreiche Legenden, dass Frauen belagerter Städte ihre Haare für die Katapulte geopfert hätten). Es gibt eingehende Berichte samt Bauanleitungen und Berechnungen für Katapulte verschiedener Art bei antiken Autoren, vor allem bei *Heron von Alexandria*, *Philon von Alexandria* u.a. *Ktesibios* wird die Erfindung eines Katapults mit Metallfedern zugeschrieben, die aber wenig wirksam gewesen und nie wirklich verwendet worden sein dürfte. Dasselbe gilt zweifellos für einen ebenfalls *Ktesibios* zugeschriebenen Druckluftkatapult. Die Römer haben den Onager entwickelt, eine spezielle, relativ einfache Katapultform.

Im Schiffsbau entwickelten die Griechen die *Form der Ruderschiffe* zur Perfektion (Länge:Breite = 10:1) und zu *Dimensionen*, die an moderne Großkampfschiffe heranreichen, wenn sich an Bord eines

– allerdings eher aus Prestige Gründen gebauten und nie eingesetzten – aus zwei Schiffen bestehenden *Katamaran-Giganten* des *Ptolemaios IV.* (vermutlich nur zu Versuchszwecken) über 7000 Mann Besatzung (4000 Ruderer, dazu Seeleute und Kämpfer) befunden haben sollen (*Plutarch*).

Die vornehmlich angestrebte Kampftechnik war der Rammstoß. *Thukydides* berichtet, dass eine Triereme in einem Ausnahmefall in 23 Stunden 345 km zurückgelegt habe, was einer enormen Durchschnittsgeschwindigkeit von 8-9 Knoten, d.h. 15 km/h entspricht. Dem gegenüber strebten die Römer darnach, die im Landkrieg üblichen Formen auf die See zu verlagern; sie entwickelten Entershaken und –brücken. Rein technisch haben sie aber wenig zur Weiterentwicklung der griechischen Schiffsbautechnik beigetragen. Die technisch-handwerkliche Beherrschung des Materials (verschiedene Hölzer) und die ingenieurstechnische Fertigkeit in der Konstruktion waren hoch entwickelt. – Handelsschiffe erlangten eine Größe von mehr als 1000 Tonnen.

Relativ wenig Aufmerksamkeit wurde dem Landtransport gewidmet. Die Norm waren *Ochsenkarren* mit Scheibenrädern (wie sie schon in Mesopotamien in Verwendung waren), dann Wagen mit Speichenrädern, wie sie sich bereits bei *ägyptischen Streitwagen* finden; früh schon gab es fragile Konstruktionen für Streitwagen oder Prunkgefährte und später *überdachte Wagen* für Personen- und Lastentransporte. Bei *Schwersttransporten* bemühte man sich, die Last als Achse zu verwenden oder wenigstens axial zu lagern.

Zur Zeitmessung benützte man Sonnenuhren, Sanduhren und Wasseruhren (Klepsyden), die sogar „geeicht“ wurden.

Aber auch im alltäglichen Leben gab es technische Lösungen, die Leben und Arbeit erleichterten.

Archimedes von Syrakus als Ingenieur 287-212

Archimedes er war mit seinen "Elementen der Mechanik" gleichermaßen Ingenieur, also Praktiker. Neben den bereits erwähnten Leistungen als Mathematiker und Physiker tätigte er eine Fülle von praktischen Erfindungen, die er teilweise spektakulär auswertete: Flaschenzüge¹³⁸, Hebelsysteme, die archimedische Schraube als Wasserpumpe, eine Fülle von Kriegsgeräten (er soll angeblich Brennspiegel gegen feindliche Schiffe eingesetzt haben¹³⁹), er entwarf ein riesiges Schiff, das sich Hieron von Syrakus bauen ließ und das 900 Personen tragen konnte, baute auch ein berühmtes, von *Cicero* genanntes

138Er soll damit angeblich allein eines der größten Schiffe in Syrakus an Land gezogen haben, was natürlich allein schon angesichts des Reibungswiderstandes des Flaschenzuges undenkbar ist.

139Einschlägige Versuche in neuerer Zeit haben unterschiedliche Ergebnisse erbracht; in Hinblick auf ein „wissenschaftliches Verständnis“ ist aber allein schon die Idee relevant.

Planetarium, das das Vorbild der späteren, spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Planetarien werden sollte (s.o. Astronomie).

Am meisten aber geschah diesbezüglich im Hellenismus in Alexandria, wo man sich in weit höherem Ausmaß als um die theoretischen Bereiche noch für die praktische Anwendung der Mechanik interessierte, was in Verbindung von Handwerk und Wissenschaft die wissenschaftliche Erkenntnis in den noch nicht etablierten Bereichen der Physik förderte, insbesondere hinsichtlich der Gase und Dämpfe – *Heron von Alexandria*s "Pneumatik" ist die erste wissenschaftliche Arbeit, die sich mit Versuchen mit Luft und mit gespannten Dämpfen beschäftigt.

Ktesibios von Alexandria (um 140 vChr)

Ktesibios gilt als der Erfinder der Feuerspritze, die bis weit in die Neuzeit unverändert geblieben ist, auch wurden bereits relativ komplizierte und technisch anspruchsvolle Wasserpumpen gebaut, und der Wasserorgel, die in Byzanz lange noch verwendet worden ist.

Philon von Byzanz (Mitte 3. Jh vChr)

Er war der eigentliche Erfinder des Heronsballs, auch des Thermoskops (d.h. eines wärmeempfindlichen Elements, das Temperaturveränderungen anzeigt, ohne deshalb aber wie ein Thermometer geeicht zu sein).

Heron von Alexandria (1. Jh nChr)

Heron von Alexandria „*mechanikos*“ war eine der originellsten Persönlichkeiten der Antike. Über seine Lebenszeit weiß man fast nichts – er lebte möglicherweise im 1. Jh vChr, oder (wahrscheinlicher) aber erst im 1. Jh nChr, wenn es sich bei der Mondesfinsternis, die er erwähnt, um jene von 62 nChr handelte. Es ist von ihm eine Reihe von Schriften überliefert (z.T. nur in arabischer Übersetzung):

- *Pneumatika*, handelt in zwei Büchern von Phänomenen, die mit Druck zusammenhängen – Wasser-, Dampf- und Luftdruck. Der erste Teil behandelt die Theorie und baut auf Straton von Lampsakos auf, der zweiter Nachfolger des Aristoteles am Lyzeum gewesen ist. Es ist dies die erste wissenschaftliche Arbeit über Versuche mit Luft und gespannten Dämpfen von Belang. Heron von Alexandria postuliert darin, dass Luft aus Teilchen wie Sandkörnern bestehe und dazwischen sei leerer Raum, denn sonst wäre es unmöglich, in ein mit Luft gefülltes Gefäß weitere Luft hinein zu blasen. So aber träten neue Luftteilchen in die Leerräume, sonst müsste das Gefäß ja platzen. Gäbe es keine Leerräume, so könnte auch kein Licht durch das Wasser oder durch die Luft dringen – denn auch für die Flüssigkeiten postulierte er Zwischenräume zwischen den Teilchen. Luft wie Flüssigkeiten

bestehen deshalb aus Teilchen im leeren Raum. Er steht damit in der Tradition des Demokrit und des Straton von Lampsakos. Im praktischen Teil beschreibt Heron von Alexandria 75 Geräte, von denen nur wenige praktische Bedeutung haben, die meisten sind trickreiche Spielereien, wie etwa die automatischen Tempeltüren (insgesamt gibt es fünf dieser „Tempelwunder“), die sich durch ein Opferfeuer bewegen lassen und der raffinierte Heronsbrunnen. Diese Geräte lassen eine enorme Beherrschung der Materie erkennen.

- Automatopoietike, Die Herstellung von Automaten, handelt von der Herstellung von zwei kleinen, mechanisch angetriebenen Puppentheatern.; der Antrieb erfolgt über zwei Kolben, die in Zylindern laufen; aus den Kolben rieseln nach und nach die eingefüllten Hirsekörner heraus, die daraus resultierende Bewegung der Kolben bewegt über Schnüre die Figuren. Heron von Alexandria gibt eine genaue Anleitung für alle Details, so dürfen z.B. für die Schnüre keine Darmsaiten verwendet werden, da sie von der Luftfeuchtigkeit abhängig sind und dadurch der Spielplan durcheinander käme.
- Mechanika – in drei Büchern, nur in arabischer Fassung (mit etlichen irrigen Passagen) überliefert, mit zahlreichen Zeichnungen, von denen nicht ausgeschlossen ist, dass sie auf Heron von Alexandria selbst zurückgehen. Das Werk behandelt im zweiten Buch die fünf einfachen Maschinen (Hebel, Rad mit Welle, Keil, Schraube und Flaschenzug) und enthält den Satz: was an Kraft gewonnen wird, geht an Weg verloren. Bei Keil und Schraube erkennt er allerdings nicht, dass es sich um die schiefe Ebene handelt, weshalb er ihre Theorie auch nicht bewältigt, da er sie mittels der Hebelgesetze zu erklären sucht. Im dritten Buch geht es um die praktische Anwendung vor allem in Kränen, Hebezeugen und Pressen, und es wird ein wertvoller Einblick in die Praxis gegeben.
- Katoptrika, Lehre von den Spiegeln, nur in lateinischer Fassung aus dem Mittelalter erhalten, galt zeitweilig als Werk des Ptolemaios. Behandelt plane, konkave und konvexe Spiegel, auch hier geht es immer wieder um trickreiche Effekte.
- Metrika, drei Bücher über geometrische Messungen in Bezug auf Flächen und Körper bis hin zur Teilung von gekrümmten Flächen.
- Dioptra, Theorie und Praxis der Vermessungstechnik, enthält eine eingehende Beschreibung des Diopters, des von Heron von Alexandria benützten Vermessungsinstrumentes, das als Vorläufer des Theodoliten angesehen werden kann, und erläutert eingehend die Anwendungsmöglichkeiten samt Beispielen (zum Tunnelbau) Im Zusammenhang damit wird ein Gerät zur Entfernungsmessung auf Straßen, das Hodometer erläutert, das durch ein Wagenrad angetrieben mit Hilfe von Zahnrädern Umdrehungen zählt und damit Strecken addiert (Vitruv beschreibt ein ähnliches Gerät, bei dem alle 400 Umdrehungen ein Steinchen in einen Behälter fällt, und noch Leonardo da Vinci greift darauf zurück. Heron von Alexandria gibt auch die berühmte Formel für die Berechnung der Fläche eines Dreiecks, dessen drei Seiten gegeben sind.

- Definitionen, hier ist die Autorschaft nicht gesichert, es handelt sich um einen Text, der als Einleitung einer Sammlung mathematischer Aufgaben in Byzanz (11. Jh) diene.
- Geometrumena, eine Einführung in die Geometrie, bruchstückhaft
- Stereometrumea, Körperlehre unter dem Gesichtspunkt praktischer Anwendungen
- Belopoeika, über die Konstruktion von Katapulten
- Cheirobalistika, über „Handkatapulte“, d.h. Armbrust

Eine Arbeit über Klepsydrn und etliche andere von *Heron von Alexandria* selbst erwähnte Arbeiten sind verloren.

Aus *Heron von Alexandrias* Werken werden wir in eingehender Weise über die Gebrauchsmathematik und die angewandte Technik des Messens unterrichtet.

Schon um 80 vChr, also wohl schon vor *Heron von Alexandrias* Zeit, sind Geräte konstruiert worden, die als Vorläufer unserer Uhren anzusehen sind – 1906 wurde ein derartiger Mechanismus, der aus 40 Zahnrädern in einem Kasten besteht, bei der Insel Antikythera aus dem Meer geborgen. es handelt sich um ein mechanisches Planetarium, das möglicherweise von einer Art Uhrwerk angetrieben worden ist und den Stand von Sonne und Mond sowie der Planeten einschließlich der Rückläufigkeit gezeigt haben dürfte. Der Apparat ist zweifellos verwendet und auch wegen Abnutzung repariert worden. Bis zu diesem Fund hätte man derartiges nicht für möglich gehalten. Ähnliche Instrumente sind – in wesentlich einfacherer Ausführung – erst 1000 Jahre später von den Arabern gebaut worden. Der technische Stand des Apparates von Antikythera entspricht in etwa dem des 18. Jhs.! (Abbildungen des Apparats von Antikythera und von Rekonstruktionsversuchen, s. auch *Skript Uni Münster*)

Diese alexandrinische Tradition mechanischer Arbeit ist über die Wirrnisse der Übergangszeit zu den Muslimen hinüber gerettet und erhalten worden; die großartigen automatischen Klepsydrn, wie etwa jene, die *Harun-al-Raschid* als Geschenk an Karl den Großen gesandt hat, steht in dieser Linie.

2.9.2 Architektur

In diesem Bereich sind maßgebliche Beiträge von den Römern erbracht worden, insbesondere durch

Marcus V. Pollio Vitruvius (Ende 1. Jh vChr)

Vitruv war „Chef der Pioniertruppe“ unter *Caesar* und handelte in seiner zwischen 31 und 27 vChr entstandenen und dem Augustus gewidmeten Schrift

- *De architectura*, in 10 Büchern Lateinisch-deutsche Ausgabe: *Vitruv. Zehn Bücher über Architektur*, übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. Curt Fensterbusch, Darmstadt 1996., nicht

nur eingehend vom Bauwesen mit allen seinen Materialien einschließlich der Farben und deren Anwendungsarten sowie von den einzelnen Bautypen von der einfachsten Hütte bis zu Palästen, Theatern und Bädern einschließlich der Akustikprobleme. Auch befasste er sich mit dem Messwesen, im 8. Buch dem Auffinden, Prüfen und Zuleiten des Wassers, im 9. Buch mit der Kosmologie wie der Astronomie bis hin zur Anfertigung eines Analemma und einer Vielzahl unterschiedlichster Uhren und schließlich im 10. Buch mit den „Maschinen und ihrem Unterschied zu Werkzeugen“ einschließlich der zugrunde liegenden Mechanik, um dann die wichtigsten Geräte ziviler wie militärischer Natur vorzustellen.

Es ist *Vitruvs* ausführliches Werk die einzige aus der Antike erhaltene zusammenhängende Darstellung dieser Bereiche, leider sind die dazugehörigen Zeichnungen und Skizzen verloren.

Sextus Julius Frontinus (1. Jh nChr)

Frontinus war Wasserbauspezialist, stellt seine Materie, Wasserleitungs- und Aquäduktbau, eingehend in seiner Schrift „De Aquis“ dar.

2.10 Zusammenfassung

Die im klassischen Altertum entwickelten und durch mehrere Jahrhunderte verfeinerten Kenntnisse sind in den meisten Bereichen in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten erst vernachlässigt und dann – zumindest im Westen – nach und nach verlorengegangen, so dass in der Zeit des Niederganges des römischen Reiches und der Völkerwanderungszeit im Abendland nur noch vergleichsweise rudimentäre Kenntnisse verfügbar waren, die im Wege einiger weniger zusammenfassender Autoren weiter tradiert und zur Grundlage des mühsamen Erneuerungsprozesses wurden. Besser stand es um die Kontinuität im Osten, wo Alexandria weit über seine Blütezeit hinaus eine bedeutende Rolle spielte und mit den Arabern die neue politische Macht sehr rasch das Erbe des Überlieferten übernahm und sich aktiv aneignete. Und damit wurde auch wesentlich der zeitlich erheblich später liegende Rezipierungsprozess im Westen vorbereitet.

3 Abendländische Spätantike und Frühmittelalter

Die Befassung mit dem, was wir als Mathematik und Naturwissenschaften umschreiben, ist im paganen wie im christlichen Bereich der Spätantike stark zurückgegangen und im christlichen Früh- und Hochmittelalter auf Grund des Umstandes, dass die Kirchenväter die Naturbetrachtung als für das Seelenheil überflüssig, ja geradezu schädlich bezeichneten.

3.1 Mathematik, Astronomie, Physik

Der Mann, der gewissermaßen in Rezipierung des Vergangenen – der noch die klassischen antiken Autoren gelesen hatte – und mit seiner zusammenfassenden Darstellung an Ausgang und Eingang, an der Schwelle steht und damit zu den bedeutendsten Überlieferern in das Mittelalters hinein wurde, war – wie aus dem Kapitel Altertum erinnerlich –

Anicius Manlius Severinus Boethius (ca. 480-524)

Boethius, über den bereits gehandelt worden ist, war Christ (verfasste u.a. auch eine Schrift *De sancta trinitate*) und hochrangig in der Umgebung des *Theoderich von Freiberg* tätig; er plante eine lateinische Gesamtausgabe des *Platon* und des *Aristoteles* – die er nicht verwirklichen konnte; er hat aber viel von *Aristoteles* (etliche logische Schriften, Erste Analytik) und auch die *Isagoge* des *Porphyrrios* übersetzt; manches, was unter seinem Namen läuft, ist aber nicht wirklich von ihm übersetzt worden. Im gegebenen Zusammenhang wichtig ist, dass er eine Reihe von Übersetzungen griechischer mathematischer Werke veranstaltet hat, die als leicht fasslichen Zusammenfassungen großen Anklang fanden, darunter auch Teile des *Euklid* und aus Agrimensoren Schriften.

- *De institutione arithmetica* ist praktisch eine Übersetzung der Arithmetik des Nikomachos von Gerasa und war lange als Lehrbuch in Gebrauch
- „*De astronomia*“ – verloren
- "*De ratione abaci*", von Gerbert studiert
- „*De disciplina scholarium*“ unterrichtet uns über das römische Bildungswesen
- "*De minutis*", über das Bruchrechnen.

Diese Werke sind, wie bereits erwähnt, in der Karolingerzeit und im Hochmittelalter, ja noch im Spätmittelalter für die Ausbildung im Quadrivium herangezogen worden.

Bei der Bewertung der Situation ist in Erinnerung zu rufen, dass es in dieser Zeit in Europa nach wie vor nur die römischen Zahlen gab, mit denen zu rechnen alles eher denn angenehm und leicht gewesen ist, da sie ja keine Stellenwerte kannten, sondern lediglich mit der Aneinanderreihung von Symbolen operierten.

Während in Europa nichts Neues geschah, übernahmen die Araber aus dem Osten die **Null**, die sie mit "*as-sifr*" (= leer) bezeichneten, woraus neulateinisch *cifra* entstand. Im Italienischen ist dieses Wort schließlich zu "*zefiro, zefro*" und im Venezianischen schließlich zu "*zero*" umgewandelt worden, was bekanntlich Null heißt. Erst später hat sich – über das Französische – für alle Zahlen der Begriff "Ziffern" eingebürgert.

Ab etwa 500 ist im oströmischen, byzantinischen Raum lange bezüglich der Mathematik nichts feststellbar. Erst die arabischen Initiativen – Sammeln von Manuskripten, Berufung führender Leute etc. – scheinen Byzanz wieder etwas aufgeweckt zu haben. 863 kommt es zur Gründung einer Lehranstalt im Magnaura-Palast in Byzanz, die mit der Person *Leon d. Mathematiker* verbunden ist, der große Bedeutung zukommt.

Johannes Philoponos (490-570)

Johannes Grammatikos von Alexandrien, lebte in Alexandria, ist als *Aristoteles*-Kommentator hervorgetreten und hat eine der ersten Kosmologien des Frühchristentums mit „wissenschaftlichem“ Anspruch – *De opificio mundi* geschaffen, die dem Schöpfungsbericht der Bibel nicht widersprach. Hinsichtlich der Physik schrieb er zum freien Fall und zum Wurf wie auch zur Lichtfortpflanzung. Im Zusammenhang mit der Widerlegung der Vorstellungen der Sekte der Antiochener hinsichtlich der Engelshierarchie, die mit der Bewegung der Himmelskörper beschäftigt ist (wie das bei Kosmas Indikopleustes dargestellt ist¹⁴¹),¹⁴² entwickelte Philoponos erstmals eine Impetus-Theorie, die er auch auf die supralunaren Bewegungen anwendet. Ähnlich wie bei Aristoteles verhält es sich im Werk des Philoponos so, dass sich seine Aussagen nicht in einem speziellen Abschnitt zusammengefasst, sondern über sein Werk hin in einzelnen Sätzen seiner *Aristoteles*-Kommentare und in seiner Kosmologie verstreut finden. Philoponos definiert Ort und Raum (Raum existiert für ihn an sich, als solcher) anders als Aristoteles und weist auch dessen Überlegungen hinsichtlich der Notwendigkeit eines Mediums (die Aristoteles von der Akzeptierung des Vakuums abgehalten hatte) zurück – „*denn zunächst ist keineswegs in ausreichender Weise, so dass es unseren Verstand befriedigt, gezeigt worden, dass die naturwidrige und gewaltsame Bewegung nach einer der aufgezählten Weisen verursacht wird*“¹⁴³. Kritisch diskutiert Philoponos die Vorstellung der Luft als Medium und gelangt zur Frage, die später auch Buridan stellen wird: warum kann der Werfende die Krafteinwirkung nicht unmittelbar auf den Stein ausüben? Philoponos spricht nun der Kraft eine weit selbständigere Stellung zu als Aristoteles dies (vermutlich)

141 Kosmas Indikopleustes schreibt: „*Da die Himmelsleuchten ihre Bahn ziehen und Nächte, Tage, Jahre und Zeiten verursachen und für die Seefahrer und Wüstenreisenden Zeichen sind, die Erde beleuchtend, wollen wir behaupten, dass sie nicht durch das Kreisen des Himmels, sondern durch verstandesbegabte Kräfte, gleichsam Lampenträgern, bewegt werden. Die eine Gruppe der Engel wurde nämlich angewiesen, die Luft zu bewegen, andere die Sonne, wieder andere den Mond, die Sterne, noch andere mussten Wolken machen und Regenfälle erzeugen und vieles andere. Denn es ist Aufgabe und Gesetz für die Ordnungen und Mächte der Engel, für das Wohlergehen und die Ehre des menschlichen Abbildes Gottes zu dienen und alles zu bewegen wie gehorsame Soldaten des Königs*“. Nach Grün 115.

142 Philoponos schreibt diesbezüglich: „*Die Anhänger der Lehre des Theodoros sollen uns doch sagen, aus welcher Stelle der göttlich inspirierten Schriften sie herauslesen wollen, dass Engel es sind, die den Mond, die Sonne und jeden Stern bewegen, entweder indem sie sie wie Zugtiere vorwärts ziehen oder von hinten stoßen, wie man Lasten wälzt, oder auch beides zugleich oder indem sie sie auf den Schultern tragen. Was gäbe es Lächerlicheres als das?*“, nach Grün 112.

143 Nach Grün 103f.

tat, und postuliert „unkörperliche Energien“; durch diese wird die Vakuumsfrage obsolet. „*Gott hat sehr wohl dem Mond, der Sonne und den übrigen Sternen, als er sie schuf, auch eine Bewegungskraft eingeben können, wie den schweren und leichten Körpern ihre Bewegungstendenzen und allen Lebewesen die Bewegungen von der ihnen innewohnenden Seele, damit die Engel sie nicht mit Gewalt zu bewegen brauchen. Denn alles, was nicht von Natur bewegt wird, hat nämlich eine erzwungene naturwidrige Bewegung und eine Ursache des vergehens. Wie werden so viele mächtige Körper bestehen bleiben, wenn sie über so lange Zeit gewaltsam geschleppt werden?*“¹⁴⁴.

An die Impetus-Theorie des *Philoponos* sind in der Neuzeit und in der neueren Forschung unterschiedliche Interpretationen geknüpft worden – u.a. aus der Frage heraus, ob *Philoponos* sich den Impetus als eine spontane, „neue“ – nicht aus früherer Bewegung durch den Schöpfer abgeleitete – „Kraft“ bzw. Bewegung gedacht habe oder nicht¹⁴⁵.

Die Vorstellung des *Philoponos* ist in der Folge wieder in Vergessenheit geraten; erst in der Scholastik wird die Diskussion wieder aufgenommen.

Leon der Mathematiker (790-nach 869)

Leon d. Mathematiker soll an der Magnaura-„Universität“ optische Telegraphen und andere technische Feinheiten konstruiert und eine medizinische Enzyklopädie verfasst haben. Sein Hauptverdienst liegt aber darin, dass er es war, der die Werke der alten Autoritäten sammeln und abschreiben ließ: praktisch unsere gesamte Überlieferung des *Euklid*, *Apollonios von Perge*, *Archimedes*, *Diophant* von Alexandria und *Ptolemaios* in griechischer Sprache beruht auf diesen Abschriften! Die älteste *Euklid*-Handschrift stammt aus dem Jahr 888 und wurde in Byzanz geschrieben, sie liegt heute in Oxford. Eine Sammelhandschrift des *Archimedes* aus derselben Quelle kam im 12. Jh in die Hände der Normannen und Staufer und nach der Schlacht von Benevent 1166 in die Hand des Papstes, der sie *Wilhelm Moerbeke* für seine Übersetzungen zur Verfügung stellte, später ist die verschollen.

Jenes Feld, in dem Mathematik wenigstens im Sinne von Rechnen und in Verbindung mit astronomischen Überlegungen gepflegt worden ist, war die **Chronologie**, vornehmlich in Bezug auf die Osterrechnung. Hier ist in der Frühzeit zu nennen:

Dionysius Exiguus (†540),

144Nach Grün 112.

145Grün 117ff.

ein skythischer Mönch, der mit seinem

- Liber paschalis die Grundlagen für die christliche Zeitrechnung schuf, als er 525 im Auftrag von Papst Johannes I. die Ostertafeln neu ordnete. Er griff auf den 532-Jahr-Zyklus von Victorius von Aquitanien zurück (Mondzyklus 19 Jahre × Sonnenzyklus 28 Jahre). Im Jahr 525 setzte er den Beginn der neuen Periode auf 532 fest und bezeichnete den Beginn der laufenden Periode als das Jahr der Geburt Christi: 1 v. Chr. Er zählte die Jahre nicht mehr nach dem Regierungsantritt des Kaisers Diokletian (29. 9. 284 – er hielt es für unpassend, dass die Kirche nach dem Christenverfolger oder seinen Opfern und nicht nach Christus zähle), sondern ab incarnatione Domini. Christi Geburt verlegte Dionysius Exiguus. in das Jahr 754 ab urbe condita, und zwar auf den 25.12. des 1. Jahres seiner Ära. Zur Zeit Karls des Großen war die "dionysische" Berechnung in der ganzen Kirche in offiziellem Gebrauch, deshalb aber nicht durchgängig oder gar ausschließlich in Verwendung.

Die Einführung von Christi Geburt (die Angaben für das eigentliche Geburtsjahr liegen heute zwischen 4 und 7 vChr) als Bezugspunkt der Jahreszählung war eigentlich ein „Nebenprodukt“ der Arbeit an den Ostertafeln; die Bestimmung des Osterfestes war zwischen östlichen und westlichen Kirchen umstritten, obwohl das Konzil von Nicäa 325 dekretiert hatte: Ostern finde am ersten Sonntag nach dem Vollmond statt, der an oder nach der Frühlings-Tagundnachtgleiche gesehen wird.

Eine ähnlich isolierte Größe war

Beda Venerabilis (674-735)

Beda Venerabilis war wohl der bedeutendste Gelehrte des abendländischen Frühmittelalters; er lehrte an der Schule von St. Paul in Jarrow. Er schrieb praktisch zu allen damals bekannten Bildungsbereichen, konnte Griechisch und offenbar auch ein wenig Hebräisch; vor allem ist er als Chronograph und Historiker („Vater der englischen Geschichtsschreibung“) hervorgetreten: seine **Historia ecclesiastica gentis Anglorum** ist für die Frühgeschichte unersetzbar; in seiner **Weltchronik** benützt er erstmals die Zeitrechnung *ab incarnatione domini* neben den Weltären. In Zusammenhang damit hat er

- De temporibus, 703 verfasst,
- De temporum ratione, nach 716 entstanden, ist ein ausführlicheres und im nachfolgenden wesentliches Werk in Hinblick auf die Osterrechnung und greift auf Macrobius und Isidor von Sevilla zurück. Dabei lag das Problem in der Beziehung zwischen dem jüdischen Mondkalender und dem römisch-julianischen Sonnenkalender. Jesus soll nach dem julianischen Kalender am Freitag, den 25. März 29 gekreuzigt worden und am folgenden Sonntag auferstanden sein. Nach den jüdischen Quellen andererseits fand die Kreuzigung zur Zeit des Passahfestes statt, und dieses ist im jüdischen Mondkalender für den 14. Tag des Monats Nisam festgelegt und der Monat beginnt mit dem

Erscheinen der Mondsichel nach dem Neumond; der 14. Tag ist also der Tag nach dem Vollmond. Man ging davon aus, dass Gott die Welt zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche geschaffen habe, nach damaliger Vorstellung am 25. März; der Mond wäre demnach am 28. März als "Licht der Nacht", als Vollmond, geschaffen worden. Das Passahfest, der 14. Nissan, konnte aber – astronomisch gesehen – auf jeden Tag fallen. Papst Sixtus hat deshalb um 120 festgelegt, dass Ostern am Sonntag danach zu feiern sei. Später – wohl auf dem Konzil von Nicäa 325 – beschloss man, Ostern am ersten Sonntag nach dem ersten Frühlingsvollmond zu feiern. Beda Venerabilis hat ebenfalls das auszurechnen unternommen. Es ergibt sich ein 19jähriger Zyklus (1 Sonnenjahr = $12 \frac{7}{9}$ Mondmonate). Dazu kommen die Probleme mit den Schalttagen, die Differenzen ausgleichen mussten und die Wochentagsfrage. Es ergibt sich ein $19 \times 28 = 532$ jähriger Zyklus. – Beda Venerabilis rechnet mit Stunden, die er in 4 puncta oder 10 minuta oder in 40 momenta teilt; hinsichtlich des Mondes rechnet er mit Stunden, die er in 5 puncta teilt..

Beide Arbeiten sind führende Lehrbücher über lange Zeit und damit Grundlage der europäischen mittelalterlichen Zeitrechnung. Die Erschaffung der Welt datierte er auf das Jahr 3952 vChr¹⁴⁷.

Beda Venerabilis schrieb auch einen Traktat über das **Rechnen mit den Fingern – De loquela per gestum digitorum**; er beschreibt hier die Darstellung der Zahlen mit Hilfe der Finger (im wesentlichen gleich wie vor ihm schon *Nikolaus von Smyrna*), sagt aber nichts aus über ein Rechenverfahren, sowie mit „*De signis coeli*“ ein dann weit verbreitetes Werk der Astronomie. Von ihm ist möglicherweise auch das älteste als solches erkennbare Autograph der Welt erhalten¹⁴⁸.

Karolingische und ottonische Renaissance

Im Westen kommt erst mit der karolingischen Renaissance wieder eine kontinuierliche Entwicklung in Gang; ihr bedeutendster Exponent ist

Alkuin (735-804)

Alkuin wurde an der Domschule von York, England, ausgebildet und begegnete Karl dem Großen in Parma, worauf ihn dieser an seinen Hof zog. Er unterrichtete Karl, den er zu seinem Manifest "**De libris colendis**" inspirierte, und baute das Bildungswesen neu auf. *Alkuin* verbrachte den Lebensabend als Gelehrter in St. Martin in Tours, wo er eine "Gelehrtenschule" begründete. Ihm kommt auf Grund seiner Stellung am Hofe Karls des Großen eine ganz zentrale Position in Hinblick auf die Überlieferung und

147Daraus ist nicht zu schließen, dass er damit eine Zeitrechnung nach Jahren vChr eingeführt hätte.

148Es handelt sich um ein Manuskript einer Arbeit *Beda Venerabilis* in St. Petersburg, deren Explicit lautet: „*Explicit liber [...]* *Beda miserabilis*“ – eine solche Herabwürdigung seiner Person kann wohl nur als Bescheidenheitsfloskel des Betroffenen gewertet werden.

Bewertung der überlieferten Bildungs- und Wissensinhalte zu. Er selbst hat eine Reihe von Schriften zur Theologie, Kirchengeschichte und Didaktik verfasst. Zur **Chronographie** und zur **Mathematik** hat er beigetragen mit:

- De cursu et saltu lunae ac bisexto (Chronologie) und
- Propositiones ad acuendos iuvenes = Aufgaben zur Schärfung des Geistes der Jünglinge, es ist dies eine Sammlung von 53 mathematischen Aufgaben, die am fränkischen Hof verwendet wurde; z.B.: die Schnecke wird von der Schwalbe zum Essen eingeladen und muss dazu eine Meile weit reisen; sie legt pro Tag aber nur $\frac{1}{12}$ Fuß zurück, wie lange braucht sie? u.ä. Einige Aufgaben sind schon aus dem Papyrus Rhind bekannt, andere aus der byzantinischen und der arabischen Welt. Einen wesentlichen Teil des Werkes machen zahlenmystische Interpretationen der Bibel aus.

In der Folge finden sich in zunehmender Zahl bei verschiedenen Autoren mathematische Ausführungen, die alte Vorlagen aufgreifen und ausspinnen, vor allem hinsichtlich der überlieferten Aufgaben (wie bei *Alkuin* auch).

Aus dem 9. Jh ist eine ziemlich gründliche Schrift zum Vermessungswesen, d.h. geometrischen und vermessungstechnischen Inhalts, erhalten, deren Autor unbekannt ist und die unter dem Namen

- Geometria incerti auctoris läuft. Sie eröffnet gewissermaßen den Typus der „Geometria practica“, aus der dann später die „Visirkunst“ etc. hervorgehen. Es sind allerdings nur die Bücher 3 und 4 überliefert – in Buch 3 wird die praktische Durchführung von Vermessungsarbeiten beschrieben und dabei auch das Astrolab ausführlich besprochen. Das Werk enthält in Buch 4 auch Ausführungen über Körper, Volumina etc. und Beispiele, deren Lösungen allerdings z.T. völlig falsch sind.

Gerbert von Aurillac (940/50-1003)

Er war wohl der erste dem abendländischen Kulturkreis entstammende Gelehrte, der die neuen Zahlen kennen lernte – und zwar bei seinem Aufenthalt im damals noch maurischen Cordoba. *Gerbert* ist nach *Boethius* und nach dem am Hofe Karls des Großen lehrenden Briten *Alkuin* (730-804) die zeitlich nächste Autorität in Sachen Mathematik in Europa geworden. *Gerbert*, der ab 999 als Papst Silvester II. das Pontifikat innehatte, markiert mit seinem Werk

- Regula de abaco computi einen Wendepunkt in der Rechentechnik und in der Terminologie: bis auf ihn bezeichnet man die Arithmetik mit dem Wort "Computus", mit dem man ursprünglich die kirchliche Zeitrechnung (computus ecclesiasticus) umschrieb – wir sprechen von den Mathematikern dieser Epoche als den „Computisten“; diese Epoche ist gekennzeichnet durch die altrömische Zahlenschreibung und Rechenweise. Gerbert eröffnet nun die Epoche der Abacisten, weil er das

Rechnen mit dem Abacus dadurch reformierte, dass er Steine – gekennzeichnet vermutlich mit westarabischen Zahlzeichen – beim richtigen Stellenwert einsetzte. Damit ist die Benützung des Abacus wesentlich vereinfacht worden. Es ist dies einer der frühesten Nachweise der indischen Zahlen in Europa. Nicht wirklich erkannt hat Gerbert den Wert der Null – er führt aber eine leere Kolumne im Abacus. Insofern brachte er nicht den wahren Durchbruch, den erst die Übersetzung der Arithmetik des Mohammed ben Musa al-Khwarizmi um 1200 brachte; in diesem Werk wird das Rechnen mit der Null gelehrt, das durch Verballhornung des Namens als "Algorithmus" in die mathematische Terminologie eingegangen ist. Die wirksame Verbreitung der neuen Rechenmethoden wurde – erst in Italien und später auch im Norden – durch Leonardo Fibonacci (ca. 1170 – ca. 1240) eingeleitet; s.w.u..

- *Geometria*, die vor allem in einer Salzburger Handschrift überliefert ist. Mit diesem Werk liefert Gerbert die erste brauchbare christlich-abendländische Zusammenfassung der Geometrie. Sein Werk greift auf Heron von Alexandria und Boethius zurück, nennt aber darüber hinaus eine Fülle weiterer Autoren (wobei aber unklar ist, ob er diese wirklich verwendet oder nur die Zitate abgeschrieben hat) und enthält im wesentlichen den Satz des Pythagoras und seine Anwendungen auf die Flächenberechnungen von Dreiecken, Trapezen und Vielecken (wobei auch der Versuch unternommen wird, aus der gegebenen Fläche und der Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks den Wert der Katheten zu berechnen), dann einfache Körper wie Pyramide und Kugel, Winkelmessungen und Höhenmessungen mit Hilfe des Astrolabs und schließlich als eines der "ewigen" Probleme die Frage der Kreisquadratur nach Archimedes. Das Werk enthält aber auch Arithmetisches
- *Libellus de numerorum divisione* ist eine kleine Anleitung zum Dividieren

Um die originelle und eigenwillige Persönlichkeit *Gerberts* bildeten sich zahlreiche Legenden bis hin zur Zauberei.

Ein Enkelschüler *Gerberts* war

Franco von Lüttich (+ 1083)

Er hat sich mit der Kreisquadratur befasst, die er durch die Zusammenstellung von möglichst kleinen Sektoren zu Rechtecken bzw. Quadraten und im Wege der Bruchrechnung zu bewerkstelligen versucht.

Sehr früh hat *Hermann Contractus* (= der Lahme) von Reichenau (1013-1053) über das Astrolabium geschrieben.

Im 11. Jh setzen die ersten Anfänge jener Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Fragen ein, die zur Rezipierung und Weiterentwicklung des Wissens des klassischen Altertums führen.

4 Außereuropäisches

4.1 China

Die Entwicklung in China¹⁵⁰ ist nur schwer erfassbar, weil Vieles deklariertmaßen erst weit später aufgezeichnet worden ist und es – nicht nur deshalb – immer wieder an sicheren Datierungen fehlt. Hinzu kommt, dass die Frage der Selbständigkeit der Entwicklung oder ihrer Beeinflussung von Indien und anderen Bereichen her nicht mit Sicherheit zu klären ist. So sind z.B. bezüglich der chinesischen Mathematik lange sehr unterschiedliche Auffassungen vertreten worden. Durch die Arbeiten von Joseph *Needham* ist das Bild wesentlich schärfer geworden und es ist erkennbar, dass in China früh sehr beachtliche Leistungen erbracht worden sind.

Mathematik

Chinesische Zahlzeichen sind uns früh auf Orakelknochen und auch Inschriften auf Münzen und auf Opfergefäßen überliefert. Es handelt sich um ein *System* mit Zahlzeichen von 1 bis 10 und weiters für 100, 1000, 10.000 und 1000.000., wobei sehr früh das Dezimalsystem vorliegt und ein Stellenwertsystem vorhanden ist (bereits im 13. Jh vChr). Früh wurde mit *Rechenstäbchen* operiert, wobei deren horizontale Lage eine andere Bedeutung signalisierte als die vertikale Legung – es ist dies eine Vorform des Abakus; für die *Handhabung* der Rechenstäbchen sind zahlreiche Anleitungen und später auch Rechenreime geschaffen worden.

Tsu Chung-Chih (430-501)

rügte den Wert für π mit $22/7$, wie ihn u.a. auch *Archimedes* angab, als unexakt, und gibt seinerseits $355/113 = 3,1415929$ an und korrigierte schließlich auf einen Wert, der zwischen $3,1415926$ und $3,1415927$ liegen müsse! – der heute bekannte Wert liegt mit $3,141\ 592\ 653$ ziemlich genau in der Mitte (π ist heute auf Millionen von Stellen berechnet).

¹⁵⁰Die Transliteration chinesischer Namen und Begriffe wechselt in der Literatur (je nach Sprache und Zeit) sehr stark. In der Regel lassen sich die Identitäten unterschiedlicher Formen aber recht klar feststellen.

Die Null ist etwa 200 Jahre vor den ersten Überlieferungen in Indien (870 nChr) bekannt (ca. 700 nChr). Das früheste Vorkommen der Null ist für Südostasien – Kambodscha, Sumatra, Indochina um 600 nChr nachweisbar. Im engeren chinesischen Bereich gibt es damals bereits Leerstellen in Zahlen, die Null signalisieren sollen, aber noch kein eigenes Zeichen dafür (ähnlich wie später noch bei *Gerbert*). Das Zeichen 0 wird im 13. Jh nChr allgemein verwendet, das Wort dafür aber erst im 14. Jh; das früheste Wort für Null im Chinesischen ist das Wort für kleine Regentropfen oder Wassertropfen, die nach dem Regen auf einer Fläche stehen.

- In der Mathematik ist als ein ältestes Lehrbuch über das Gnomon und die Himmelsphären resp. Kreisbahnen (Chou Pei Suan Ching) überliefert, dessen erste uns bekannte Fassung allerdings erst spät, nämlich aus dem 15. Jh erhalten ist; vermutlich stammt es aus der Zeit um Christi Geburt. Dieses Werk diskutiert das rechtwinkelige Dreieck (der Satz des Pythagoras ist, natürlich nicht als solcher, bekannt) und es werden auch astronomische Fragen behandelt. Das zweite große Lehrbuch sind die
- "Neun Bücher arithmetischer Künste" (Chiu Chang Suan Shu), überliefert aus der Zeit um 1250 (die Datierung ist nicht minder schwierig als die vermutlich weit, bis in die Zeit um Christi Geburt, zurückreichende Entstehungsgeschichte des Werkes). Dieses Werk handelt in 246 Aufgaben vor allem vom Ausmessen der Felder und gibt Anweisungen für die Berechnung von Flächeninhalte von Rechtecken, Dreiecken, Trapezen, Kreisen, Kreissegmenten und Kreisringen – für π wird über das 3072-Eck der außerordentlich gute Wert 3,1416 errechnet; das alles mit Hilfe von Regeldetri, Proportionsrechnung und eine Art Matrizenrechnung zur Gleichungslösung; es werden Probleme um das rechtwinkelige Dreieck behandelt, bei denen der Satz des Pythagoras zur Anwendung kommt, ohne dass irgendein Beweis des Satzes gegeben wird. Alle Probleme sind strikt auf die Praxis ausgerichtet (auch wenn einige Lösungen sehr akademisch-problematisch sind, wenn errechnet wird, dass eine Stadt "112.4004/12175" Mann zum Arbeitsdienst zu stellen hat ...)

Im ersten Jahrtausend entsteht eine Reihe von mathematischen Werken, die als

- Zehn Mathematische Handbücher zusammengefasst wurden, die an der zentralen kaiserlichen Ausbildungsstätte („Akademie“) verwendet wurden. Die Verfasser der einzelnen Werke sind z.T. unbekannt; die Werke enthalten mitunter Methoden, die heute noch an chinesischen Gymnasien gelehrt werden. Auch wurde in diesen Werken ein Teil der heute noch gebräuchlichen chinesischen Terminologie entwickelt.

Chin Chiu-Shao (um 1250)

den *Sarton* einen der größten Mathematiker überhaupt nennt, verfasste 1247 seine

- Neun Abschnitte über Mathematik – inwieweit dieses Werk mit den eben genannten „Neun Büchern arithmetischer Künste“ identisch ist oder von diesem partiell abhängt, ist nicht erkennbar. Das Werk gibt Anleitung zur Lösung von Gleichungen in 81 sehr schwierigen Beispielen aus den Bereichen chronologische Berechnungen, Landvermessung, Trigonometrie, Staatsdienst, Festungsbau, Geometrie, militärische Arithmetik, Tausch (Geldwechsel?). Es wird rote Tinte für positive, schwarze für negative Zahlen verwendet. Für „x“ wird ein eigenes Zeichen (das himmlische Element, Monade) verwendet, es ist die Null vorhanden, Gleichungen werden horizontal geschrieben und so geformt, dass das Ergebnis negativ ist. Es wird behauptet, man könne Gleichungen „aller“ Grade lösen (Sarton behauptet, auch solche 10. Grades), und zwar nach einer an ein Hindu-Verfahren angelehnten Methode, die 1805 und 1819 durch Paolo Ruffini und William George Horner erst wieder angegeben wurde („Ruffini-Horner-Verfahren“).

Yang Hui (um 1270)

schrieb einen Kommentar zu den „Neun Abschnitten arithmetischer Regeln“ und weitere Arbeiten, in denen er sich mit arithmetischen Reihen beschäftigt.

Es gibt neben diesen „Standardwerken“ ab dem 2. Jh nChr zahlreiche Problemsammlungen, die in Bezug auf ihre praktische Umsetzbarkeit große Verbreitung erlangt haben. In ihnen werden quadratische Gleichungen verwendet. Im 13. Jh nChr kommt es zu einer allerdings relativ isolierten Intensivierung mathematischer Arbeit, gewissermaßen zu einer Blütezeit der Mathematik in China: es treten innerhalb weniger Jahrzehnte vier erstrangige Mathematiker auf:

Chin Zhiu Shao, Li Ye, Yang Hui und Zhu Shijie,

die (der gleichzeitig herrschenden Dynastie entsprechend) als „**Song-Yuan-Mathematiker**“ bezeichnet werden. Die Gleichungslehre wird erweitert; Gleichungen werden (lange bevor dies in Europa geschieht) auf Null gesetzt; das bei uns als *Pascalsches* Dreieck bekannte arithmetische Dreieck der Binominalkoeffizienten wird lange vor *Pascal* (1654) entwickelt (es ist auch den Muslimen schon früher bekannt) und ist aus dem Jahr 1303 schriftlich *überliefert*, die mathematische Schreibweise wird fixiert. Neben den dominierenden praktischen Aufgaben werden Kalenderprobleme behandelt, die Trigonometrie wird ausgebaut:

Li Yeh (1178-1265)

"**Seespiegel der Kreismessung**", 1248, ein in China und Japan dann weit verbreitetes Werk, handelt im Wesentlichen von der Trigonometrie

Kuo Shou-Ching (1231-1316)

diente unter Kublai Khan, für den er einen Kalender errechnete; er führte die Trigonometrie nach möglicherweise muslimischem Vorbild in China ein, konstruierte astronomische Instrumente, von denen zwei noch existieren (sie wurden im Jahr 1900 in Peking von den Deutschen abmontiert und 1920 gemäß dem Vertrag von Versailles 1920 retourniert; sie sind nicht mit den Jesuiteninstrumenten des 18. Jhs zu verwechseln); diese Geräte weisen die mongolische Gradeinteilung auf: $365 \frac{1}{4}$ Grad auf den Kreis, 1 Grad = 100 Minuten zu 100 Sekunden). *Kuo Shou-Ching* gibt die Ekliptik mit $23^{\circ}33,40$ an!

In der chinesischen Mathematik ist vor allem die Arithmetik stark und lange dem Westen weit voraus; die Geometrie ist eher unterlegen. Unklar sind allfällige Beeinflussungen aus dem und in den arabischen und indischen Raum. Nach einem Nachlassen mathematischen Interesses im 15. Jahrhundert, tritt nach 1500 wieder eine Aufwärtsentwicklung ein. Im 17. Jh setzt mit den Jesuiten europäische Einfluss ein und die autochthone chinesische Entwicklung nimmt ein Ende.

Die Chinesen entwickelten eine Vorliebe für *magische Zahlenquadrate* und Ähnliches. Die Rechenoperationen waren ähnlich schwierig wie im Westen. Ähnlich wie im Westen ist früh nach mechanischen Hilfen gesucht worden: der *Abacus* (*Ergebnisse eines Wettkampfs zwischen elektrischer Rechenmaschine und der japanischen Variante des Abacus*) und eine *streifenförmige Hilfe*, die in etwa *Napiers Bones* entspricht, jedoch schon um 200 vChr – also 1500 Jahre früher – belegt ist. Sehr früh sind auch Dezimalbrüche verwendet worden (vor allem für Maßeinheiten), auch war man bemüht, extrem hohe Zahlen auszudrücken (sehr früh in Zehnerpotenzen). Negative und irrationale Zahlen sind früh als unproblematisch akzeptiert worden

Astronomie

Die **Astronomie** spielte eine sehr wesentliche Rolle, da sie eng mit den religiösen Vorstellungen vom Kosmos verknüpft und als Hilfsmittel der Astrologie unentbehrlich war; Tempelanlagen enthielten zumeist auch astronomische Beobachtungseinrichtungen. Wie auch nachfolgende Beispiele zeigen, waren die Chinesen die ausdauerndsten astronomischen Beobachter vor den Arabern. (*Sternkarte 940 n.Chr., Merkur-Regression*)

Die Entwicklung der Astronomie **hierher T160** entspricht in Vielem jener bei den Griechen, allerdings in manchen Bereichen (keineswegs aber durchwegs) mit etwas Verzögerung. Etwa zur Zeit des *Ptolemaios* schon bauten sie Armillarsphären und Himmelsgloben, im 8. Jh traten frühe Vorläufer von Uhren hinzu, für 1088 ist der Bau einer wasserbetriebenen astronomischen Turmuhr gesichert, wobei auch die Bauanleitung erhalten ist, so dass in den 1950er Jahren ein exaktes Modell dieser 12 m hohen Konstruktion angefertigt werden konnte, die auf Grund einer Steuerung durch eine Wasseruhr und eines

Antriebes durch Wasser die Armillarsphäre samt Visierrohr der Himmelsbewegung (resp. Erddrehung) entsprechend nachführte.

Geographie

In **China** wurden früh schon hervorragende *geographische Arbeiten* begonnen, vor allem Zentralasien betreffend. Sie sind durch die Züge der Mongolen wesentlich gefördert worden.

4.2 Indien

In diesem Raum verfügt man über eine lange Tradition und eine reiche Überlieferung (in Sanskrit), aber über eine nur wenig entwickelte historiographische Tradition und dem entsprechend ist die Datierung von einzelnen Individuen und Leistungen außerordentlich schwierig.

Mesopotamische Vorstellungen haben auch die indischen Vorstellungen von Zeit zu Zeit beeinflusst, wo man im mythologischen Bereich bis in Zeitdimensionen von $2 \times 30 \times 12 \times 100 \times 4320$ Millionen Jahre vorstößt = Dauer des Lebens des Brahma (= ca. 311×10 hoch 12 Jahre). Ein nicht ganz so ausuferndes System wurde mit Zarathustra in Verbindung gebracht: vier Weltalter zu je 3000 Jahren. Auch gab es die Vorstellung von einem Göttlichen Jahr = 360 göttliche Tage zu 360 Menschenjahren = 129.600 Jahre.

In den Rigveda hat das Jahr 360 Tage in 12 Monaten, ein Interkalarmonat von 25-26 Tagen in Abständen von 5 Jahren ($5 \times 5 = 25$), de facto haben 5 Jahre 1.826,25 Tage, der vedische Kalender ergibt also 1.826 Tage¹⁵¹.

In den vedischen Schriften zerfällt das Jahr als Wort des Welterschöpfers in 10.800 Momente = 12 Monate zu je 30 Einheiten zu je 15 Momenten des Tages und 15 Momenten der Nacht = $12 \times 30 \times 30 = 10.800$. Diese 10.800 Momente zerfallen in jeweils 40 "Silben" = 432.000.

Diese Zahlenoperationen sind im „Westen“ in von den Indern beeinflussten astronomischen Vorstellungen übernommen worden. Z.B. hat das „Große Jahr“ bei *Heraklit* 10.800 Jahre. In der babylonischen Astronomie gibt es einen Zyklus von 432.000 Jahren. – Offen ist die Frage der wechselseitigen Beeinflussung.

Es entstehen mathematische Arbeiten in Gestalt von Dichtungen. zuerst (1. Jt v.) die **Sulvasutras** = "Seil-Regeln", dann später die fünf **Siddhantas** = Lösungen = Systeme der Astronomie (sie entstehen in der Zeit 5.-11. Jh).

Aryabhata (geb. 476 nChr)

151 S. David Pingree, History of Mathematical Astronomy in India, in: Bd 15 = Supplementband 1 des Dictionary of Scientific Biography, 1978, 533-633.

Aryabhata I lebte in Südindien und verfasste das weit verbreitete Werk

- Arayabhatiya, ein in vier Abschnitte gegliedertes Werk, das in Versen abgefasst ist, die auswendig gelernt und durch Lehrer erläutert werden sollten – der Text ist deshalb in Ermangelung der mündlichen Erläuterung oft nur schwer verständlich. Der erste Teil enthält die Erläuterung des Zahlensystems, der zweite handelt vom Rechnen, der dritte von der Chronologie und der vierte Teil von der Kugel. Im zweiten Teil findet sich folgende Angabe zu #: „Einhundertvier mal acht, dazu zweiundsechzigtausend, ist näherungsweise der Kreisumfang für den Durchmesser eines Zehntausenderpaares“, dies heißt $62.832/20.000 = 3,1416$! Wie dieser Wert gewonnen wurde, wird nicht angegeben. Ebenso wird der Satz des Pythagoras ohne Beweis angegeben.

Ein klassischer und berühmter Hindu-Mathematiker war

Brahmagupta (598-670)

er war Leiter des astronomischen Observatoriums in Ujjain¹⁵² und ist als Verfasser einer Reihe berühmter mathematischer Werke bekannt geworden.

- Brahmasphutasiddhanta, „Die Öffnung des Universums, des Kosmos“, wurde 628 verfasst. Das Werk ist in 25 Kapitel gegliedert, deren erste zehn offensichtlich das ursprüngliche Werk darstellten und die Astronomie nach den damaligen Kenntnissen darstellen. Die weiteren 15 Kapitel sind offenbar Hinzufügungen, die sich mit den mathematischen Grundlagen und Ergänzungen zu den ersten zehn Büchern befassen. Es ist ein mathematisch-astronomisches Werk, das u.a. Bruchrechnungen, Zinsrechnungen und das Rechnen mit positiven wie negativen Zahlen sowie mit der Null enthält (negativ = Schuld). Eingehend befasst er sich mit der Null, die er als das Resultat definierte, das man erhält, wenn man eine Zahl von sich selbst abzieht; bezüglich der Verwendung der Null führt er aus: „Wird Null zu einer Zahl hinzugezählt oder von ihr abgezogen, so bleibt die Zahl unverändert; wird eine Zahl mit Null multipliziert, so ist das Ergebnis Null“. Auch stellte er die Rechenregeln für positive und negative Zahlen auf: Rechnen mit Null, Multiplikation zweier negativer Zahlen ergibt eine positive Zahl etc. Brahmagupta behandelt als erster in der alten Welt die Null als eine vollwertige arithmetische Einheit, als Zahl. Früher ist dies nur bei den Mayas in der Zeit der „klassischen Periode“ (250 – 900) der Fall. Die Mayas benutzten ein Zahlensystem auf der Basis 20 und stellten alle Zahlen durch nur drei Zeichen dar..

¹⁵²Diese Stadt, die auch Residenz *Ashokas* (272-236 vChr) gewesen sein soll, wird als Ozone bereits bei *Ptolemaios* unter Angabe der geographischen Koordinaten genannt; nach ihrem Meridian ist heute die indische Standardzeit festgelegt – die Stadt bezeichnet sich heute als „Holy City“ und als indisches Greenwich, s. *hier*, diese Bilder zeigen allerdings die von Raja Jai Singh im 17. Jh errichteten Anlage.

Brahmagupta gibt auch Multiplikationsverfahren nach dem Stellenwertsystem an: $235 \times 288 = 235 \times 2 = 470$; $235 \times 8 = 1880$; $235 \times 8 = 1880$; Resultat 67680

Komplizierter waren natürlich die Dividier-Methoden. Von Bhaskara II (1114-1185) sind mehrere Werke mit interessanten Beispielsammlungen überliefert.

- Khandakhadyaka, für das Jahr 664 nachweisbar, behandelt in acht Kapiteln neuerlich die Grundzüge der Astronomie

Brahmagupta lieferte exzellente Beiträge zur Algebra – löste Gleichungen zweiten Grades – und wurde von *al-Biruni* hochgeschätzt.

In der Trigonometrie geht man in Indien früh zu den halben Sehnen und halben Winkeln über, d.h. zum **Sinus**. Die Siddhantas bzw. das Aryabhatiya bieten die erste Sinustafel (mit Intervallen von $3 \frac{3}{4}$ Grad). Es gibt allerdings auch Wissenschaftshistoriker, die die Vermutung hegen, dass diese Erfindung eigentlich schon im späten Alexandria gemacht worden und nur über Indien bekannt geworden sei. In den Siddhantas finden sich auch Methoden zur Lösung quadratischer Gleichungen. Wie immer es um den vermuteten griechischen Einfluss auf die indische Mathematik stehen mag, auf jeden Fall erfahren die mathematischen Probleme in Indien eine wesentliche Verfeinerung.

Im 9. und 10. Jh wurden weitere Zusammenfassungen erstellt, die im Zuge der Einfälle islamischer Völker nach Indien auch nach dem Westen wirkten.

Der muslimische Mathematiker *al-Biruni* hat diese Siddhantas (die bereits existierenden sind schon um 766 in Bagdad bekannt geworden), vor allem das Aryabhatiya, verwendet (er hat sie als ein „Gemenge von wertlosen Kieseln und wertvollsten Kristallen“ bezeichnet) und griechischen Einfluss vermutet – ein solcher bleibt unklar.

Interessante zahlentheoretische Vorstellungen der Inder sind erst sehr spät, in der Neuzeit, im Westen bekannt geworden.

Die indischen Zahlzeichen wurden um 800 von den Arabern und dann im Abendland übernommen. Während sie die Null übernahmen, ignorierten die Araber die negativen Zahlen – dies ist möglicherweise auf griechische Vorstellungen (hier gab es keine Null) zurückzuführen.

Der älteste Hinweis auf indische Ziffern im Westen findet sich in einer Handschrift des Severus *Sebokt*, einem syrischen Bischof, der in Zusammenhang mit den anlässlich der Schließung der paganen Lehranstalten 529 nach Jundischapur¹⁵⁴ ins Exil gegangenen Gelehrten zu sehen ist – er wies in seinem Text darauf hin, dass es neben den Griechen auch noch andere gebe, die etwas von Wissenschaft

154In der Nähe des heutigen Shahabad im südwestlichsten Iran nahe der Grenze zum Irak.

verstünden, nämlich die Inder mit ihren subtilen mathematischen Kenntnissen, die sie mit nur neun Zeichen (also ohne Null) umsetzen. Der älteste Nachweis in Indien selbst stammt aus dem Jahr 595. Die Form des Zeichens für 0 war ursprünglich regional unterschiedlich. Es gab aber – und gibt bis heute in Indien – auch ein Dezimalschreibsystem ohne Null, das spezielle Zeichen für 10, 100, 1000 etc. aufweist. Die Verwendung der Null ist im Westen erst für das Jahr 876 wirklich nachweisbar.

Die Null findet sich zuerst in der mesopotamischen Mathematik, dann früh auch in Südostasien und ist dann von Indien aus dort weiter verbreitet worden. Das heutige Zeichen 0 für Null dürfte aus dem griechischen stammen (ouden = nichts). – Die Null ist übrigens auch von den *Mayas* bereits vor *Kolumbus* benützt worden.

4.3 Hinweis auf das präkolumbische Amerika

Spät erst wurde zugänglich, was im präkolumbischen Amerika vor allem durch die *Mayas* geleistet worden ist, die in ihrer so genannten „klassischen Periode“ – etwa 300 vChr bis 300 nChr – eine Schrift und das Rechnen entwickelten, in hervorragender Weise astronomische Beobachtungen durchführten und zu genauen Angaben bezüglich der Gestirnsbewegungen gelangten, bis hin zu Sonnenfinsternis-Tabellen u.ä. Auf diesen Grundlagen entwickelten sie den genauesten *Kalender* ihrer Zeit.

Das Zahlensystem der *Maya*¹⁵⁵ baut auf der Einheit 20 auf und sie verwendet sehr früh, möglicherweise als erste überhaupt, die Null als Zahl. Zur Darstellung der Zahlen benötigten sie nur drei Zeichen: eine Muschel für die Null, einen Punkt für die Eins und einen Balken für die Zahl Fünf. Beim Anschreiben der Zahlen benutzten sie ein vertikal gegliedertes Stellenwertsystem, in dem 20 die erste Zahl auf der nächsthöheren Eben nach den Zahlen 1-19 war. Zum Rechnen wurden Tabellenwerke benutzt.

Alle Kenntnis der Maya-Mathematik beruht allein auf dem Dresdner Kodex¹⁵⁶.

5 Mathematische und naturwissenschaftliche Arbeit in der Welt des Islam

Es ist früher bereits eingehender dargestellt worden, welche Rolle dem Rezipierungsprozess der griechischen Errungenschaften in der Wissenschaft durch die Araber bzw. die Muslime in einem weiteren Sinne hinsichtlich der Entwicklung der modernen Wissenschaft zukommt, indem sie große Teile des Wissens und des Schriftgutes des klassischen Altertums übernahmen, übersetzten und damit die Grundlage schufen für die weitere Vermittlung in das abendländische Europa des Hochmittelalters.

155S. dazu Floyd G. Lounsbury, *Maya Numeration, Computation and Calendrical Astronomy*, in: Bd 15 = Supplementband 1 des *Dictionary of Scientific Biography*, 1978, 759-818.

156Es ist eine der vier erhaltenen Maya-Handschriften, ein Leporello 356 x 20,5 cm. Die Handschrift wurde in Graz faksimiliert, s. *www-Quelle*

Darüber hinaus aber haben die *Muslime*, d.h. die Araber und die durch sie dem Islam zugeführten Völker (*Karte des abbasidischen Bereiches*), dieses Wissen sich angeeignet und es selbständig erweitert. So besteht ihre Leistung nicht nur in der bloßen Vermittlung, sondern wesentlich auch in vielfältiger und kritischer Erweiterung des Wissens des klassischen Altertums. Es ist dies ein Prozess, der sich vor allem in der Zeit vom 8. bis zum 14. Jh über verschiedene *Zentren* vollzogen hat. Während dieser Zeit setzt – weitgehend auf dieser muslimischen Grundlage – im 12. Jh der langsam das direkt wie im Wege der *Muslime* übernommene, ausgeweitete Wissen rezipierende und dieses schließlich ausweitende Prozess im christlichen Europa ein, auf dem die moderne Wissenschaftsentwicklung beruht. Der Stellenwert der wissenschaftlichen Leistungen im muslimischen Bereich ist in Europa zwar in der Aufklärung als ein Element der kontinuierlichen Fortentwicklung von Wissenschaft eingeschätzt und anerkannt worden, dann aber im Gefolge der Historisierung und der Philologisierung mit ihrer Zentrierung auf das klassische Altertum im 19. Jh in den Hintergrund gerückt¹⁵⁷. Tatsächlich stammen die wichtigsten neueren Beiträge zur Geschichte der muslimischen Wissenschaftsentwicklung aus dem angelsächsischen und dem französischen Bereich – ohne das *Dictionary of Scientific Biography*, ohne die *Encyclopedia of Arabic Science* und die vielen Forschungsarbeiten vor allem an englischsprachigen Universitäten wäre keine auch nur einigermaßen zutreffende Übersicht über dieses Thema zu gewinnen.

Die großartigsten Leistungen im muslimischen Bereich sind in der Mathematik in Verbindung mit der Astronomie, und auch über diese hinaus als reine Mathematik und in mathematisch fassbaren Bereichen der Physik im heutigen Sinne, d.h. im Wesentlichen in der Optik, aber auch in der Astronomie an sich erbracht worden. Ein anderer Bereich von hohem Stellenwert, der hier aber nur am Rande berührt wird, ist die Medizin. Andere Bereiche der Naturwissenschaften sind – sieht man Ansätzen im Bereich der Chemie in Zusammenhang mit der Alchemie ab – nicht wirklich systematisch verfolgt worden und es kommt den Leistungen in diesen Bereichen längst nicht jene Bedeutung zu wie in der Mathematik und in der Astronomie, wenn auch einzelne Werke durchaus hervorragenden mögen, wie etwa *Ibn Sinas* Arbeit im Bereich der Geologie.

Auf das allgemeine geistige und institutionelle Umfeld ist ebenfalls bereits hingewiesen worden. Es ist nochmals daran zu erinnern, dass die wissenschaftliche Tätigkeit sich im muslimische Bereich konzentriert anfänglich auf den Raum um Bagdad einschließlich Syriens, dann auf Kairo, vor allem aber auf den Osten, d.h. auf das Gebiet des heutigen Iran und Transoxaniens, und schließlich auf den Westen, d.h. auf die ab 711 eroberten Teile der iberischen Halbinsel, wo einige Zeit hindurch die

¹⁵⁷Es ist dies eine – im Wesen sicherlich zutreffende – Einschätzung aus wesentlich französischer Sicht, die Roshdi Rashed 1993 im Vorwort der von ihm herausgegebenen *Encyclopedia of the History of Arabic Science*, 3 Bde London – New York 1996, I xf. formuliert: „[...] *German Romantic philosophy, and the German school of philology* [...] *had given considerable impetus to the philological and historical disciplines. The history of Arabic science gained from this rapid expansion, before becoming its victim: the study of Greek or Latin scientific texts could not longer eschew the Arabic works; but the snare of history through languages* [...] *enmeshed the history of Arabic science and bore it into retreat.*”

spätantike, provinzialrömische Tradition christlicher Prägung, z.B. eines *Isidor von Sevilla*, auch nach 711 fortgewirkt hat¹⁵⁸ und im 11. Jh hinsichtlich der naturwissenschaftlichen Aktivitäten ein Höhepunkt erreicht wurde (*al-Zarqali*, *al-Battani*, die Toledanischen Tafeln). Der Westen nimmt auf Grund seiner geographischen Lage zum christlichen Westeuropa und mit der Vermittlungstätigkeit der jüdischen Gemeinden¹⁵⁹ im katalanischen Raum und in der Provence hinsichtlich des Wissenstransfers in das lateinische Europa eine ganz besondere Stellung ein, wobei im 12. Jh *Averroes* eine zentrale Position einnimmt. Insgesamt aber lag das Schwergewicht in naturwissenschaftlicher Hinsicht im Osten.

Insgesamt ist aber immer noch festzuhalten, dass bezüglich der Fortschritte im muslimischen Bereich weit mehr noch als hinsichtlich der westlichen nur sehr vorsichtig geurteilt werden kann, da nur sehr wenige Arbeiten übersetzt und einem breiteren Expertenpublikum zugänglich gemacht worden sind und dem entsprechend die unmittelbare Kenntnis der Inhalte der oft sehr umfänglichen wissenschaftlichen Schriften nur eingen wenigen Experten erschließbar ist. Dem steht eine ungeheure Masse an überhaupt noch völlig unerschlossenen Manuskripten gegenüber¹⁶⁰. Wie in anderen Bereich auch, ist auch hier die Gefahr von „überzogenen“ Interpretationen im Sinne von „Rückprojektionen“ aus Kenntnis des modernen Wissensstandes gegeben. Als wichtigste Grundlagen wurden das Dictionary of Scientific Biography (DSB, ed. Charles Coulston Gillispie) und die häufig das DSB überarbeitende neuere *Internet-Biographien-Sammlung* MacTutor History of Mathematics Archive herangezogen. Erst in jüngerer Zeit sind vermehrt Untersuchung zur Entwicklung im muslimischen Bereich erschienen¹⁶¹.

Die Schreibweise der arabischen Namen ist je nach der Zeit der Transliteration wie nach der Sprache, die zugrunde gelegt wird, recht unterschiedlich; eine Einheitlichkeit auf einen Transliterationsmodus hin wurde nicht hergestellt, zumal solche auch in sich nicht konstant sind; in der Regel wird die im DSB verwendete („englische“) Namensform verwendet¹⁶². Die Lebensdaten sind oft genug unsicher und müssen häufig als Richtwerte genommen werden. Auf Grund der Namensgestaltung ist es mitunter selbst in der wissenschaftlichen Literatur schwierig, Personen mit Sicherheit zu identifizieren bzw. zu

158S. dazu Juan Vernet und Julio Samsó, The Development of Arabic science in Andalusia. In: EHAS I 243-275.

159S. dazu auch Bernard R. Goldstein, The heritage of Arabic science in Hebrew. In: EHAS I 276-283.

160Der xxx Wissenschaftshistoriker Edward S. Kennedy schreibt dazu: „*The historian of the Islamic exact sciences is frequently confronted with an embarras de richesse – hundreds of manuscript sources which have never been studied in modern times.*“ – Kennedy, Mathematical geography. In: EHAS I 185-201, 185.

161Es ist hier vor allem die Encyclopedia of the History of Arabic Science, hg von Roshdi Rashed, 3 Bde London – New York 1996 (= EHAS), zu nennen, bei der es sich um eine themenbezogen organisierte Sammlung von Beiträgen von WissenschaftlerInnen vor allem aus dem französischen und angloamerikanischen Bereich handelt. Es stellt dieses Werk wohl die beste neuere Zusammenfassung des Themas dar

162Es wird diesbezüglich keine exakte Transliteration mit diakritischen Zeichen verwendet, um Schwierigkeiten mit der Darstellung mit Hilfe unterschiedlicher Installationsversionen zu vermeiden.

differenzieren. Es werden über die einmalige Nennung des gesamten Namens hinaus jene Namensteile verwendet, unter denen die Person im DSB verzeichnet ist.

5.1 Mathematik und Astronomie

In der Mathematik und in der Astronomie haben die Araber bzw. die Muslime die Erkenntnisse der Griechen mit jenen der Inder vereint, auch persische Elemente hinzugefügt, und in Fortführung dessen Großes geleistet. Zu den folgenreichsten Übernahmen aus dem indischen Bereich zählt die der indischen Zahlen, die heute als „arabische“ bezeichnet werden.

Bedeutende mathematische Leistungen haben die Araber vor allem im Bereich der Trigonometrie erbracht; sie haben sich aber auch sehr eingehend mit dem Parallelen-Postulat des Euklid (Beweis des Schneidens bzw. Nichtschneidens von parallelen Geraden) und, sehr erfolgreich, mit der Gleichungslehre beschäftigt.

Von den indischen zu den arabischen Zahlen

Im Jahre 773 (nach anderen Quellen 766) kam ein Mann aus Indien nach Bagdad, der ein Buch "Sindhind" über astronomische Berechnungen, einen der Siddhantas also, bei sich hatte. Auf Befehl des Kalifen al-Mansur (754-775) wurde dieses Buch von *Muhammed-ibn-Ibrahim al-Fazari* ins Arabische übersetzt – der Übersetzer war ein Sohn des *Ibrahim al-Fazari*, der als Konstrukteur eines "ersten" Astrolabs bekannt ist. Durch diese Übersetzung sind die indischen Zahlzeichen bei den Arabern bekannt und eingeführt und die über ein Jahrtausend zurückreichenden astronomischen Aufzeichnungen der Inder, die so genannten **Siddhantas**, übernommen worden: eine Reihe wichtiger, elementarer mathematischer Arbeiten, die uns aber am besten über den *Gebrauch der Null* unterrichten, darin auch die Hindu-Methode der Lösung quadratischer Gleichungen – möglicherweise hing damit auch die Rezeption der indischen Zahlen zusammen, denn die ersten astronomischen Tafeln des *al-Khwarizmi* und des Habash Al-Hasib *al-Marwazi*¹⁶³ beruhten auf den Tafeln in den Siddhantas.

Vor der Übernahme der indischen Zahlzeichen hatten die Araber Zahlen in ähnlicher Weise wie die Griechen zuvor schon unter Heranziehung der Buchstaben geschrieben und auch ein ausgefeiltes System des Fingerrechnens geübt, das sie wohl im Zuge von Handelsbeziehungen übernommen hatten. Technisch benützten sie den „Sandkastenabakus“ und das letztlich offenbar aus Mesopotamien übernommene Sexagesimalsystem. Über der Übernahme der indischen Zahlen änderten sich die Verhältnisse, zumal neben den Zahlzeichen auch Rechenbücher und Rechenmethoden aus Indien übernommen wurden..

¹⁶³Er starb um 870 und war wahrscheinlich der bedeutendste Astronom des Kalifen *al-Mamun*

Der wesentliche Anstoss zur weiteren Entwicklung kam jedoch im Wege der Übersetzung der griechischen mathematischen Schriften, durch die der Einfluss aus Indien deutlich in den Hintergrund trat und eine rasche Entwicklung eintrat, die sich zuerst – von *al-Khwarizmi* ausgehend – primär auf die Algebra mit der Entwicklung der Gleichungslehre erstreckte, die erweitert wurde durch den Einfluss von *Euklids* Elementa und die Bemühungen um geometrische Lösungen quadratischer Gleichungen wesentlich durch *Thabit ibn-Qurra* (s.w.u.). In der Folge kommt es zu Phasen der Arithmetisierung (*al-Karaji*) und dann wieder der Geometrisierung der Algebra (*Ibn Hayyam*), bis sie mit *al-Tusi* ihren Höhepunkt erreicht, der geometrische Lösungen und arithmetische mit Hilfe des Hindu-Verfahrens (= *Ruffini-Horner-Methode*)¹⁶⁴ erarbeitet.

Neben der Algebra beschäftigte sehr früh eine spezielle Form der kombinatorischen Analysis die arabischen Gelehrten – bereits im 8. Jh wird auf diesem Feld zwischen Linguistik, Sprachanalyse, Kryptographie und mathematischen Methoden der Behandlung dieser Bereiche gearbeitet, und diese Tradition setzt sich in der arabischen Lexikographie fort. Erheblicher Aufwand galt der Entwicklung von arithmetischen Verfahren höherer Ordnung, etwa dem Ziehen von Kubikwurzeln und höheren Wurzeln sowie der Rezipierung und Ausweitung der Arithmetica des *Diophant*. Ein weiteres Feld der arabischen Mathematik ist die Zahlentheorie, wo man sich eingehend mit perfekten Zahlen, Primzahlen u.ä. befasste¹⁶⁵. Vom 10. Buch der Elementa *Euklids* und von der Exhaustionsmethode des *Archimedes* ausgehend beschäftigte man sich im 10. Jh bereits eingehend mit der Bestimmung von Flächeninhalten von Kegelschnittsegmenten und mit der Quadratur der Mönchen des *Hippokrates von Chios*, womit man sich der Infinitesimalrechnung näherte. Ebenfalls aus klassischen Vorbildern übernahm man das Problem der Isoperimetrie¹⁶⁶. Eine nicht minder rapide anwachsende Aneignung und Ausweitung erfolgte im Bereich der Geometrie, wo man sich nicht nur mit den bereits klassischen Problemen (wie dem Parallelenpostulat) befasste¹⁶⁷, sondern unter indischem Einfluß auf der Grundlage der Sinusfunktion innerhalb kurzer Zeit übrigen die Winkelfunktionen einführte, definierte und ihre Werte berechnete, womit man weit über *Ptolemaios* hinausging, der *Hipparchs* Methode fortsetzend mit Sehnen gerechnet hatte¹⁶⁸ – *al-Kashi* hat den Wert des Sinus für 1° auf 16 Stellen genau bestimmt

164Dazu Details bei Roshdi Rasched, Algebra. In: EHAS II 349-375.

165Details bei Roshdi Rashed, Combinatorial analysis, numerical analysis, Diophantine analysis and number theory. In: EHAS II 376-417.

166Die Erforschung der Gegebenheiten von Flächen gleichen Umfangs und ihres Inhaltes – der Kreis hat von allen umfanggleichen Flächen den größten Flächeninhalt. Auch die Frage von Kurven gleicher Länge gehört in diesen Bereich, der auch auf Körper ausgeweitet wurde.

167Details bei Boris A. Rosenfeld und Adolf P. Youschkevitch, Geometry. In: EHAS II 447-494.

168Es wird allerdings auch die vermutet, dass der Sinus bereits in Alexandria eingeführt worden sei, doch lässt sich dies nicht beweisen. Der Begriff wird jedenfalls aus dem Sanskrit abgeleitet, wo *ardhajya* die halbe Sehne bezeichnete, dieses Wort sei im Arabaischen zu *dschyb* geworden, das später als *dschayb* gelesen wurde, was Tasche oder Bogen heisst

und Analoges hinsichtlich der Bestimmung von $\#$ geleistet. Die Entdeckung der Winkelfunktionen eröffnete den Weg zur Entwicklung der Trigonometrie, der sich in steter Auseinandersetzung vor allem mit dem Almagest, aber auch den Bedürfnissen der immer reichhaltiger werdenden astronomischen Tafelwerke (*zij*) vollzog. Bereits im 10. Jh gelangte man zur sphärischen Geometrie und in weiterer Folge zur Formel für das sphärische Dreieck, was insgesamt in der mathematischen Astronomie völlig neue Möglichkeiten eröffnete und in Zusammenhang zu sehen ist mit den Arbeiten an den großen Observatorien, insbesondere in Rayy¹⁶⁹.

Zu Ende des 9. Jhs hatte sich die Mathematik in einem reichen Schrifttum in allen genannten Bereichen breit entfaltet und machte in weiterer Folge derart enorme Fortschritte, dass ab 1000 die Ablösung von der Astronomie und damit nach nur wenig mehr als 200jähriger Entwicklung die Ausbildung selbstständiger spezifischer Disziplinen innerhalb des Faches einsetzte.

In der Astronomie bezeugt allein schon die Fülle aus dem Arabischen her kommender Wörter in der astronomischen Terminologie, aber auch unter den Gestirnsnamen den Stellenwert der muslimischen Leistungen. Eine wesentliche Motivation hinsichtlich der Astronomie bestand vor allem in den aus dem muslimischen Ritus erwachsenden Forderungen nach exakten Zeitangaben für die Gebetszeiten¹⁷⁰ auf korrekter astronomischer Grundlage und auch der Ermittlung der exakten Richtung nach Mekka, der Qibla¹⁷¹, wie sie *Ibn Yunus* beschrieben hat. Darüber hinaus haben auch meteorologische Aspekte, wie die Prognose von Niederschlag haben dazu beigetragen. Ab etwa 800 bestand eine Vielzahl von kleineren und größeren „Observatorien“, aus denen eine Fülle von Beobachtungsaufzeichnungen hervorgegangen ist, die die Grundlage für die außerordentliche Entwicklung nicht nur der beobachtenden

und dementsprechend im Mittelalter mit *sinus* in das Lateinische übersetzt wurde (Gingerich, Die islamische Periode der Astronomie 104).

169Details bei Marie-Thérèse Debarnot, Trigonometry. In: EHAS II 495-538.

170Der Tagesablauf ist in fünf Gebetszeiten gegliedert, deren zeitliche Begrenzungen sich nicht an ostensiblen Sonnenständen richten (dies ist eine bewusste Abgrenzung gegenüber dem vorislamischen Ritus), sondern an relativ schwer zu definierenden Erscheinungen („wenn der Schatten eines Menschen die Länge seiner Körpergröße erreicht hat“, „wenn die Sonne eine gelbe Farbe angenommen hat“, „der Zeitraum, in dem nach dem Sonnenuntergang der Himmel noch gerötet ist“, „Mitternacht“, „kurz vor Tagesanbruch“), deren exakte Fassung über die Jahreszeiten hinweg für den jeweiligen geographischen Ort einen enormen astronomischen Aufwand erfordert. – Ein besonders heikles Thema, das zahlreiche muslimische Astronomen beschäftigt hat, ist die Feststellung des ersten sichtbaren zunehmenden Mondes nach dem beobachtungsmäßig nicht exakt ermittelbaren Neumond, das „Neulicht“, das den Beginn des islamischen Mondmonats signalisiert.

171Die Qibla wird durch die Ermittlung des über den Standort des Gläubigen wie über die Kaaba in Mekka laufenden Großkreises gefunden. – Dieser Großkreis ist keineswegs mit einer Geraden auf einer Landkarte gleichzusetzen, da die meisten Projektionen vor allem in höheren Breiten völlig falsche Ergebnisse liefern (dies führte noch in den 1990er Jahren zu Auseinandersetzungen unter US-amerikanischen Muslimen). Man vgl. dazu *PDF – Astronomie im Islam*, „Astronomische Kulturtätigkeit im Islam – ein Thema für integrativen Projektunterricht“ von Burkard Steinrücken. Eingehender und mit altem Bildmaterial versehen ist die Arbeit David A. King, Astronomy and Islamic Society: Qibla, gnomonics and timekeeping. In: EHAS I 128-184

Astronomie wurden; die beiden Hauptbereiche der muslimischen Astronomie galten der Untersuchung der Gestirnsbahnen und der Befassung mit dem Kosmos an sich¹⁷².

Die Entwicklung hin zur mathematischen, theoretischen Astronomie vollzog sich im Wege der Übernahme unter dem Einfluss der hellenistischen Astronomie, insbesondere des *Ptolemaios*. Hinzu traten indische und persische Einflüsse, die jedoch teilweise ihrerseits hellenistische Wurzeln hatten¹⁷³. Wie in anderen Kulturen auch, spielte auch im arabischen wie muslimischen Bereich überhaupt die Kalenderfrage eine große Rolle, wobei die Araber einen Mondkalender benützten, die Perser hingegen einen Sonnenkalender, die ebenso miteinander koordiniert werden mussten wie man sich mit dem zuvor gebräuchlichen „ägyptischen Kalender“ des *Ptolemaios* akkordieren musste. Dieser Prozess resultierte in einer Kalenderreform auf Grundlage des Sonnenkalenders im Jahr 1075, der in etwa dieselbe Bedeutung zukommt wie der Gregorianischen Kalenderreform von 1582.

Im Wesentlichen kann die Entwicklung der muslimischen Astronomie in zwei Perioden gegliedert gesehen werden:

- die Zeit bis in das 11. Jh, die maßgeblich bestimmt ist durch die Rezipierung und dann kritische Interpretation der Astronomie des Ptolemaios auf Grundlage neuer langfristig durchgeführter präziser Messungen, wodurch neue Probleme und auch Unstimmigkeiten offenbar wurden. Diese Phase kulminiert in al-Haythams „Kritik an Ptolemaios“ (s.w.u.), in welchem Werk eine Liste offener Fragen präsentiert wurde, deren Behandlung den weiteren Gang der Entwicklung wesentlich beeinflusste;
- die Zeit nach al-Haytham, als man die von ihm aufgegriffenen Fragen im Westen (wo es praktisch keine Observatorien gab) und im Osten aufgriff, wobei man
 - * im Westen die ursprüngliche aristotelische Auffassung (d.h. ein Modell ohne Epizykeln und Exzenter, also ausschließlich homozentrische Sphären) wieder beleben wollte, sich aber nur auf philosophisch-theoretische Grundlagen stützen konnte und deshalb zu keinen Resultaten gelangte

¹⁷²Es mag hier angebracht sein, darauf hinzuweisen, daß sich im Späthellenismus, definitiv aber in muslimischer Zeit die heute noch verwendeten astronomischen Orientierungsmodelle bzw. Koordinatensysteme herausgebildet haben, wie sie ja auch auf den planen Astrolabien zum Einsatz kommen. Es sind auf Konventionen beruhende „allgemeine“ Systeme (die von einem willkürlich gesetzten Nullmeridian und dem Äquator oder der Ebene der Ekliptik ausgehen) von Systemen zu unterscheiden, die sich am Standort der Beobachters orientieren (topozentrisch) und sich auf den jeweiligen Zenith, Meridian und Horizont beziehen; diese Systeme verfügen über eine jeweils eigene Terminologie. Die Zusammenführung der Beobachtungen im Rahmen dieser Systeme erfordert die korrekte mathematische Behandlung der sphärischen Trigonometrie zur Berechnung der auftretenden sphärischen Dreiecke, die deshalb auch ein primäres Thema der theoretischen Astronomie der Muslime und der in der frühen Neuzeit war. Die früheste Bewältigung dieser Aufgabe ist für *Menelaos* nachzuweisen und ist die von *Ptolemaios* angegebene, sie beruhte auf der Herstellung rechtwinkliger Dreiecke. Sie ist im 9. Jh durch die Entwicklung der sphärischen Trigonometrie im muslimischen Bereich abgelöst worden.

¹⁷³Vgl. dazu Régis Morelon, General Survey of Arabic Astronomy. In: EHAS I 1-19.

- * im Osten auf dieser Grundlage eine neue Blüte herbeiführte, als man auf die Ergebnisse der Beobachtungen in Maragha und anderwärts zurückgriff und ein zwar geozentrisches, aber nicht mehr ptolemaisches Modell des Planetensystems entwickelte.

Die wesentliche Leistung der muslimischen Astronomie, die über nahezu 500 Jahre hinweg in großer Kontinuität betrieben wurde, wird man wohl darin sehen können, dass

- die Qualität der Beobachtungen bzw. der Messungen durch den Bau immer größerer (und damit genauerer) Messinstrumente bedeutend erhöht werden konnte (es wurden immer präzisere Ergebnisse erreicht in Bereichen, die im Prinzip bereits seit der hellenistischen Astronomie bekannt waren) und
- durch die schriftliche Fixierung der Messergebnisse eine Beobachtungskontinuität über Jahrhunderte erzielt werden konnte, die es erlaubte, auch geringfügige und damit nur über große Zeiträume hinweg wahrnehmbare Veränderungen zu erfassen, womit Phänomene erkannt werden konnten, die für die eigentlich Fortführung der Astronomie, wie sie durch Kepler und Newton vollzogen werden sollte, unabdingbar waren.

In den Verfahren traten – vor allem unter mathematische-trigonometrischen Aspekten – wesentliche Verbesserungen ein und man rang um die Bewerkstelligung eines mit den zunehmend genauer (und damit hinsichtlich des Modells problematischer) werdenden Beobachtungsergebnissen übereinstimmendes Modell. Die Frage, ob es sich um ein geozentrisches oder ein heliozentrisches System handle, nahm keinen besonderen Stellenwert – *al-Battani* hat beispielsweise die Frage, ob es sich um das eine oder das andere handle, als für die astronomische Praxis uninteressant beiseite geschoben.

5.1.1 Zentren – Observatorien und Geräte

Ausgehend von den Interessen der Abbasiden-Kalifen wurde in der muslimischen Welt eine ganz außergewöhnliche Tradition von Observatorien entwickelt, die ihresgleichen sucht. Die Herrscher überboten sich im Verlaufe von mehr als einem halben Jahrtausend im Bau immer größerer Anlagen, an denen wertvolle astronomische Beobachtungen durchgeführt und Daten gesammelt wurden.

Das wichtigste Observatorium der Frühzeit war aber wohl jenes in *Harran* (lat. *Carrhae*), in Chaldäa¹⁷⁴ – dort sind (vor allem durch Angehörigen einer gestirnsorientierten Religion, z.T. in Familientradition und in Verbindung mit der Herstellung von hochwertigen Instrumenten) die Beobachtungen 900 Jahre lang kontinuierlich durchgeführt und aufgezeichnet worden, und man schloss in vielem direkt an die altorientalische astronomische Tradition an; auch die Anfertigung von Astrolabien soll von hier ausgegangen sein.

¹⁷⁴Harran liegt 40 km südöstlich von Urfa in der südöstlichen Türkei am Südabhang des Berglandes nahe der Grenze zu Syrien. Es gilt als die Stadt Abrahams und war auch zeitweise Umayyadenresidenz. Heute zeugen nur noch *Ruinen* vom alten Glanz.

Die Abbasiden-Kalifen waren an der Astronomie persönlich interessiert, wobei die treibende Kraft wohl nicht zuletzt astrologische Interessen waren¹⁷⁵. Insbesondere der Kalif *al-Mamun* (812-833) protegierte die astronomischen Beobachtungen enorm, so dass geradezu ein Sprung nach vorne eintrat. Als sich ein Beobachtungsgerät als unzuverlässig erwies, ordnete er die Einrichtung eines neuen Observatoriums auf dem Berg Qasiyun nahe von **Damaskus** an, um dort durch ein ganzes Jahr hindurch eingehend die Sonne beobachten zu lassen. Das Observatorium wurde hiefür mit allen bei *Ptolemaios* erwähnten Instrumenten ausgestattet, insbesondere mit einem gemauerten Quadranten mit einem Durchmesser von 10 Metern und einem enormen (metallinen) Gnomon, an dessen Aufrichtung *al-Mamun* selbst teilnahm; er war allerdings enttäuscht, als ihm die Astronomen mitteilten, dass das Gerät unzuverlässig sei, weil der tägliche Temperaturunterschied seine Höhe um 4 Millimeter schwanken lasse. Diese Tradition ist auch von den Dynastien, die auf die Abbasiden folgten, fortgeführt worden. – Daneben existierten aber zahlreiche andere Beobachtungsstationen. Vom Ende des 9. JHs an ist auch die Verwendung von Sehrohren bezeugt – *al-Battani* und *al-Biruni* haben diese (natürlich noch linsenlosen) Instrumente beschrieben, die in einem indischen Kreis montiert wurden und ungleich präzisere Beobachtungen als mit freiem Auge ermöglichten.

Ein zweites Observatorium ließ *al-Mamun* auf der Ebene von **Tadmor** (heute Tudmur bei Palmyra) errichten, dort gab man die Ekliptik mit 23#33 an. *al-Mamun* ordnete zwei Gradmessungen an, wobei man bei Tadmor auf $56 \frac{2}{3}$ arabische Meilen (= 111,812 km) auf einen Grad kam und daraus den Erddurchmesser mit 6500 Meilen und Umfang mit 20.400 Meilen berechnet, was als hervorragend einzustufen ist¹⁷⁶. Es wurde damals auch eine große Weltkarte für *al-Mamun* angefertigt (s.w.u. Geographie).

Manche Autoren sehen allerdings als erstes islamisches Observatorium im vollen Sinne des Wortes – Beobachtungsstation mit eigens dafür errichtetem Gebäude, entsprechendem Personal und Bibliothek – erst das 988 in **Bagdad** eingerichtete Observatorium an, an dem Abu l'Wafa *al-Buzajani*, Abu Sahl *al-Kuhi* und *al-Saghani* arbeiteten.

Etwa gleichzeitig existierte ein großes Observatorium in **Rayy** (bei Teheran), das zur Sonnenbeobachtung über einen riesigen stationären Sextanten verfügte, der als ein lichtloser, auf den Meridian ausgerichteter Schacht mit einer nur kleinen Öffnung für den Lichteintritt ausgebildet war, der teilweise unterirdisch angelegt war und einen Radius von 20 Metern hatte; somit funktionierte das System wie eine Camera obscura, in der ein Abbild der Sonne mit einem Durchmesser von 18 cm auf dem mit Kupferplatten belegten Sextanten erschien, wobei ein Grad immerhin eine Strecke von 35 cm

¹⁷⁵So wurde beispielsweise der Gründungstag Bagdads von den Hofastrologen mit dem 30. Juli 762 festgelegt.

¹⁷⁶Es ist dieser Wert allerdings nicht unangefochten, da er auf einer Rekonstruktion von 1892/93 beruht und es auch andere Interpretationen des Wertes von $56 \frac{2}{3}$ Meilen gibt, die von 104,7 bis 133,3 km reichen. Kennedy in EHAS 1 188.

ausmachte, womit eine enorme Genauigkeit der Messungen erzielt werden konnte **ABB Morelon 11**. – Ein anderes stationäres Instrument, das eine weitere verbesserung der Messgenauigkeit ermöglichte, beschrieb *Avicenna*, der es wohl auch erfunden hat **ABB Morelon 12**.

In der zweiten Hälfte des 11. Jhs wurde in der Gegend um **Isfahan** ein Observatorium eingerichtet, dessen spezielle Aufgabe es war, einen kompletten Umlauf des Saturns zu beobachten, den man als den fernsten Planeten einstufte. Dieses Ziel wurde zwar nicht erreicht, weil nach 18 Jahren, nach dem Tod des Gründers, die Beobachtungen abgebrochen wurden, doch zeugt allein das Vorhaben von der systematischen Arbeit im Bereich der Astronomie. An diesem Observatorium war zeitweise auch *al-Khayyam* tätig.

1262/63 trat das ab 1259 erbaute, vom Ilchan Hulagu (Enkel des Dschingis Khan), der 1258 Bagdad erobert hatte (wobei sich *al-Tusi* in seinem Gefolge befand), finanzierte Observatorium von **Maragha** (Maragheh im Iran, 130 km südlich von Täbris nahe dem Urmia-See) hinzu, das Nasir al-Din *al-Tusi*, einer der Berater des Herrschers und selbst führender Astronom (s.w.u.), einrichtete und wo die besten Spezialisten der Zeit – muslimische, christliche, iranische und auch chinesische Wissenschaftler – versammelt wurden; das neue Observatorium wurde mit den besten, in Bagdad und anderweitig abmontierten, aber auch mit von *al-Tusi* neu entwickelten Instrumenten ausgestattet¹⁷⁷ und verfügte über eine gigantische, in Mesopotamien, Syrien und Persien zusammengeraubte Bibliothek (von angeblich 400.000 Bänden); einer der *zitadellenartigen Bauten* dieses Observatoriums mit vier Stockwerken steht heute noch, ein dort angefertigter *silberner Himmelsglobus* befindet sich heute in Dresden¹⁷⁸. Die Anlage erstreckte sich über 280 x 220 m und war wohl das großartigste Observatorium und Wissenschaftszentrum der damaligen Welt und übte großen Einfluß auf die weitere Entwicklung im muslimischen Osten aus; seine Bedeutung ist im wesentlichen erst seit 1957 eingehender erforscht worden¹⁷⁹. In Maragha bestimmte man die jährliche Präzession der Äquinoktien zu 51 Bogensekunden (heutiger Wert 50,3") oder 1° in jeweils 70,6 Jahren (zuvor hatte man 66,66 Jahre angenommen). Die Daten, die man über 30 Jahre hin sammeln wollte (de facto blieb es allerdings bei zwölf Jahren als einem Jupiterumlauf) wurden von *al-Tusi* in den „Tafeln der Ilchane“ zusammengestellt, auf sie griff noch Nikolaus *Kopernikus* zurück. U.a. wirkten am Observatorium z.B. Muayyad al-Din *al-Urdi* (?-1266)

177Eine Beschreibung gab sein Mitarbeiter Al-Urdi, Sarton 2,1 1013f. – *al-Tusi* wurde neben *Jabir Ibn Aflah* als Erfinder des Torquetum bezeichnet; er beschrieb zwei astronomische Instrumente, die als Vorläufer des Torquetums bezeichnet werden können.

178Die Tradition wird seit 2003 fortgeführt vom *Research Institute for Astronomy and Astrophysics of Maragha*.

179S. Hassan Tahiri, The birth of scientific controversies. The dynamics of the Arabic tradition and its impact on the development of science: Ibn al-Haytham's challenge of Ptolemy's Almagest, Université de Lille 3, MSH Nord-Pas de Calais – "This paper has been developed in the context of the research project "La Science dans ses Contextes" directed by Shahid Rahman at the University of Lille 3 supported by MSH-Nord-Pas de Calais and the UMR 8163 "Savoirs, Textes, Langage" (STL)"; PDF-File

und *Qutb al-Shirazi* (1236-1311) – s.w.u. Die Tätigkeit in Maragha dürfte um 1316 eingestellt worden sein, währte also etwa 50 Jahre; um 1350 sollen die Gebäude bereits verfallen gewesen sein. In der Wissenschaftsgeschichte ist zu Ende des 20. Jhs von der „Schule von Maragha“ gesprochen worden, heute ist dieser Begriff durch „östliche astronomische Schule“ ersetzt worden.

Eine ähnlich großartige Einrichtung schuf im 15. Jh noch der Timuride Mohammed *Ulug Beg* (1394-1449), der selbst als Astronom tätig war, in den Jahren 1424-1428 mit dem **Gurkhani Zij**, einem großen Observatorium **in Sarmakand** in Transoxanien; möglicherweise hatte er als Kind das Observatorium in Maragha gesehen und es als Vorbild genommen. Dieses Observatorium soll ein dreistöckiger Rundbau mit einem Durchmesser von angeblich 46 Metern und einer unglaublichen Höhe von 30 Metern gewesen sein. Zur Ermöglichung möglichst genauer Beobachtungen wurde ein Sextant mit einem Radius von 36 Metern errichtet. Es wurden dort, auf Vorarbeiten *al-Kashis* aufbauend die genauesten Sterntafeln und Fixsternkataloge der „alten“ Astronomie (ohne Fernrohr) erstellt; der Sternkatalog wies 992 in Sarmakand vermessene und insgesamt 1018 Fixsternpositionen aus; die Genauigkeit der Angaben übertraf jene des *Ptolemaios* erheblich und wurde ihrerseits erst durch *Tycho Brahe* überboten. Die *Tafeln* wurden in Übersetzung¹⁸⁰ noch von *Newton* herangezogen. Durch langjährige Beobachtungen der Sonne mit dem Sextanten bestimmten *Ulug Beg* und seine Astronomen *al-Kashi* und *Qadi Zada* die Schiefe der Ekliptik zu $23^{\circ} 30'$ und $17''$ (genau auf $32''$) und das siderische Jahr zu 365 Tagen 6 Stunden 10 Minuten und 8 Sekunden (Abweichung von 58 Sekunden gegenüber dem heutigen Wert)¹⁸¹; auch untersuchten sie die Präzession der Äquinoktien. Es war auch dieses Observatorium ein mathematisch-astronomisches *Wissenschaftszentrum* ersten Ranges, vergleichbares existierte in Europa noch lange nicht, selbst *Tycho Brahes* Uraniborg konnte sich als Anstalt damit nicht messen, auch wenn *Tycho Brahes* Messungen noch genauer waren. – Nach *Ulug Begs* Ermordung wurde das Observatorium zerstört, doch konnte der Astronom *Al-Kudsi* mit einer Kopie der Sterntafeln nach Täbris entkommen; später lehrte er an der Medrese an der Hagia Sofia in Istanbul, von wo die Tafeln nach Westeuropa gelangten. Es ist lediglich der unterirdische Teil des Sextanten erhalten geblieben; er wurde 1908 von russischen Archäologen entdeckt und ausgegraben; der russische Astronom *Shchlegov* untersuchte die Kontinentaldrift durch Vergleich der historischen Meridianausrichtung des Sextanten mit der heutigen Lage des Meridians.

180 Thomas Hyde (1636-1703). *Tabulae long. ac lat. stellarum fixarum, ex observatione Ulugh Beighi, Tamerlanis Magni Nepotis, Regionum ultra citraque Gjihun (i. Oxum) Principis potentissimi. Ex tribus invicem collatis MSS. Persicis jam primum Luce ac Latiodonavit, & commentariis illustravit, Thomas Hyde. In calce libri accesserunt Mohammedis Tizini tabulae declinationum & rectorum ascensionum. Additur demum Elenchus Nominum Stellarum. Oxonii: Typis Henrici Hall, sumptibus authoris.*; 1665 (*Ulug-Beg-Observatorium*)

181 Ähnlich präzise wurde das tropische Jahr mit 365 Tagen 5 Stunden 49 Minuten und 20 Sekunden (Abweichung gegenüber heute: 35 Sekunden) durch den chinesischen Astronomen *Guo Shoujing* mit einem 10 Meter hohen Gnomon am Guanxingtai-Observatorium nahe Dengfeng im Jahre 1278 bestimmt.

Das Gurkhani Zij war seinerseits das Vorbild für die fünf unter dem Sammelnamen Jantar Mantars bekannten Observatorien, die der Maharaja Jai Singh II. (1688-1743) in Delhi, Ujjain, Mathura, Varanasi und Jaipur errichtete (das größte in Jaipur errichtete Instrument, eine Sonnenuhr, erreichte eine Höhe von 27 Metern); die Anlage in Jaipur mit ihren 14 Gebäuden wurde 1901 restauriert und ist heute ein nationales Monument Indiens. Diese Anlagen waren allerdings zur Zeit ihrer Entstehung durch die mittlerweile in Europa entwickelte Beobachtungstechnik mit Fernrohren und Teleskopen bereits überholt.

Im Umfeld dieser und auch kleinerer Observatorien wurden in verfeinerter Weise neue astronomische Instrumente gebaut und weiter entwickelt, anfangs vor allem durch

Ibrahim al-Fazari, 8. Jh, den ersten nachweisbaren Konstrukteur eines planen Astrolabiums, der auch Tafeln erstellte, in denen er bereits indische Zahlen benützte. Ali Ibn Isa *al-Asturlabi*¹⁸², hat einen der ersten arabischen Traktate über dieses Gerät verfasst, zwei der vermutlich zahlreichen von ihm hergestellten Geräte haben sich erhalten.

Ein Teil der Astrolabien wie der damals aufkommenden Himmelsgloben hatte aber zweifellos eher dekorativen Charakter im Zusammenhang mit einer astrologischen höfischen Kultur wie ja auch führende Wissenschaftler jener Zeit sich in den Dienst religiöser wie astrologischer Interessen gestellt haben – z.B. um die Richtung nach Mekka und die rechte Gebetszeit zu eruieren, wofür etwa *al-Khwarizmi* nicht nur schriftliche Anleitung gegeben, sondern auch zur Verbesserung verschiedener Wasseruhren und Sonnenuhren beigetragen hat.

Im Verlaufe der Jahrhunderte gab es im islamischen Raum Instrumentenmacherfamilien, die über Generationen hin florierten. Ein frühes Zentrum in dieser Hinsicht war wohl Harran (in der Nähe des heutigen Urfa), dann die florierenden Höfe der Abbasiden und anderer Dynastien und im 12. Jh in besonderer Weise Damaskus, wo es geradezu zu einer Erneuerung der Mechanik mit Arbeiten über Uhren und Automaten kam und wo als einer der berühmtesten Konstrukteure Badi al-Zaman Abul-Izz Ismail ibn al-Razzaz *al-Jazari* (1180-1210?) aus Diabakir arbeitete.

5.1.2 Die bedeutendsten muslimischen Mathematiker und Astronomen

Die nachfolgenden chronologisch geordneten Nennungen führender Vertreter des ursprünglich vereinten Bereiches Mathematik und Astronomie dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass es in diesem Wissensbereich eine außerordentlich große Zahl bemerkenswerter Wissenschaftler gegeben hat, deren Arbeit auch in die Erkenntnisse der im folgenden genannten eingeflossen ist. Wie jede derartige Auflistung beruht auch diese letztlich in gewisser Hinsicht auf subjektiven Kriterien der Beurteilung

¹⁸²Asturlabi ist ein Beiname, der nichts anderes bedeutet als „Astrolabienmacher“.

der Leistungen im Verlaufe der Zeit, wobei in der zweiten Hälfte des 20. Jhs die Befassung mit diesen Materien stark zugenommen hat und dementsprechend sich auch Wertungen verändert haben.

Die ersten Anfänge hinsichtlich der Astronomie waren noch von Indien her bestimmte und sind nur durch indirekte Überlieferung bekannte Kompilationen ohne Beobachtungsgrundlagen. Die Einführung des *Almagests* und anderer Werke des *Ptolemaios* in die arabische Astronomie wurde durch die Übersetzungen und Arbeiten des *Hunain ibn Ishaq* († 877) und seines Sohnes *Ishaq ben Hunayn* († 911) sowie durch *Thabit ibn-Qurra* herbeigeführt worden.

Abu Abdullah Muhammed ibn Musa al Khwarizmi (ca. 780 – ca. 850)

al-Khwarizmi war einer der führenden Mathematiker und Astronomen zur Zeit *al-Mamuns* und an verschiedenen wissenschaftlichen Unternehmungen beteiligt¹⁸³ – so wohl an den Gradvermessungen unter *al-Mamun* und auch an der Erstellung der Erdkarte für den Kalifen. Er überarbeitete um 820 in Bagdad einen Auszug aus den Werken des indischen Mathematikers *Brahmagupta*. Damit in Zusammenhang ist wohl sein für uns bedeutendstes Werk zu sehen, das 825 erschien und den lateinischen Titel trägt

- "Algoritmi de numeris Indorum" Das Werk enthält nur die vier Grundrechnungsarten. Eine Ausgabe der einzigen (lateinischen) Handschrift liegt vor: Kurt Vogel, Mohammed ibn Musa Alchwarizmi's Algorithmus. Das früheste Lehrbuch zum Rechnen mit indischen Ziffern, Aalen 1963 – es gibt ein Faksimile samt Transkription (nicht Übersetzung) und Kommentar. Die zugrunde liegende älteste Handschrift liegt heute in Cambridge., mit dem er die indischen Zahlen und das Stellenwertsystem inklusive der Null in das Arabische übernommen hat Dazu s.w.o., von wo es im Weiteren in die lateinische Schrift gelangt ist Beide Übernahmen haben allerdings (wie später im Westen auch) recht lange gedauert; die erste arabische Münze mit den neuen Zahlen ist erst im 12. Jh geprägt worden.. Dieses Werk war der wesentliche Überlieferer der hinduistischen, indischen, arabischen Zahlen (dazu s.w.o.); es ist nur mehr in einer lateinischen Übersetzung erhalten Bezüglich der Bezeichnung Algorithmus gab es bei späteren westlichen Autoren unterschiedliche phantastische Etymologien – Ableitungen von einem (fiktiven) Philosophen Algas, aber auch von den Argonauten..

al-Khwarizmi führte die indische und die griechische Mathematik zusammen und hat auch als erster astronomische und trigonometrische Tafeln berechnet, die nicht nur den Sinus, sondern auch den

¹⁸³Diese wurde 823 von Chalid Ben Abdulmelik in einer Ebene bei Bagdad durch Ausmessung einer Polhöhendifferenz von 1 Grad durchgeführt – erst 1528 hat der französische Arzt Jean Fernel in seiner *Cosmotheoria seu de forma mundi et ... complexa* neue Angaben gemacht.

Tangens angeben¹⁸⁸ .. Er gibt geometrische Lösungen für quadratische Gleichungen an (z.B. $x^2 + 10x = 39$). Aus *al-Khwarizmi* Namen ist in latinisierter Verballhornung der Begriff „Algorithmus“ entstanden.

Auch das Wort Algebra verdanken wir einer Verballhornung des Titels eines weiteren seiner Werke:

- "Al dschebr Walmukala" = "Hisab al-Jabr w-al Muqabalah", was als "über das Einrenken von Gegenüberstehendem" im Sinne des Einrichtens und Auflöses von Gleichungen, aber auch als "Hinüber- und Herüberbringen" übersetzt wird (wie es Diophant von Alexandria gefordert hatte) – dieses al-Mamun gewidmete Werk ist 830 fertig gestellt worden. al-Khwarizmi gibt in diesem für die damalige Zeit ungewöhnlich systematischen Werk im Abschnitt über die Algebra sechs Kategorien von linearen und quadratischen Gleichungen und ihre geometrisch ausgerichteten Lösungsverfahren an, darüber hinaus behandelt er auch die Regeldetri. Das Buch ist aus praktischen Erwägungen für die Praxis geschrieben, z.B. für Erbschaftsregelungen nach den Bestimmungen des Korans. al-Khwarizmi hat jedoch – wie die Muslime langehin – weder die Null noch die negativen Zahlen verwendet. Das Werk ist bereits um 1145 durch Robert von Chester (Robertus de Ketene) hatte kurz zuvor die erste Koranübersetzung in das Lateinische (für Petrus Venerabilis) abgeschlossen. ins Lateinische übersetzt worden und hat erst im Orient und dann im Westen enorme Wirkung gehabt.

al-Khwarizmi hat außerdem wichtige trigonometrische Tabellen erstellt, die großen Einfluss ausgeübt haben, hat auch zur Astronomie (*al-Mamun* gewidmet) gearbeitet und den *Ptolemaios* kritisch bearbeitet und berichtigt; sein diesbezügliches Werk ist allerdings nur indirekt durch eine Übersetzung eines anderen Werkes durch *Adelard von Bath* bekannt. *al-Khwarizmi* hat auch sich eingehend mit Kalenderfragen (auch zum jüdischen Kalender) und mit den Sonnenuhren befasst¹⁹⁰.

In der Folge sind die arabischen Mathematiker zu kubischen Gleichungen übergegangen – und zwar auf dem Konstruktionswege durch das Schneiden einer Parabel mit einer Hyperbel – besonders erfolgreich auf diesem Gebiet war Omar *al-Khayyam* (s.w.u.).

Im Bereich der Geometrie gelangte man zur Konstruktion des Siebenecks wie auch des Neun- und Achtzehnecks (*al-Biruni*); der sich dabei ergebende Winkel von 20 Grad war für die Berechnung der Sehnen- resp. Sinuswerte wichtig.

Abu Yusuf Yaqub ibn Ishaq ibn al-Sabbah al-Kindi (ca. 800-873)

Dieser bedeutende islamische Philosoph schrieb unter 265 Werke zur Philosophie, Astrologie, Physik, Musik, Medizin, Pharmazie und Geographie, auch zur Mathematik, darunter: **Gebrauch der indischen**

188Dieser ist allerdings möglicherweise erst von einem Bearbeiter eingefügt worden.

190Einen gewissen Einblick in *al-Khwarizmi*s Arbeiten bietet auch *dieses Projekt*

Zahlen, 4 Bücher. Darüber hinaus hat er sich in einer Fülle weiterer Werke mit dem Parallelenpostulat, mit Harmonielehre, Proportionen, Rechenverfahren etc. befasst.

Die „Banu Musa Brüder“, ca. 800 – ca. 860

In der Mathematik traten zur Zeit des *al-Khwarizmi* die drei Brüder *Banu Musa* hervor, die die griechischen Autoren gründlich studierten und übersetzten und gewissermaßen eine neue Richtung ausbildeten, wobei sie auch über die überlieferten mathematischen Kenntnisse hinausgingen und Neues entwickelten. Sie sind hinsichtlich ihrer Arbeiten kaum von einander zu unterscheiden, weshalb sie zusammenfassend zumeist als die *Banu Musa* Brüder bezeichnet werden. Die im Westen am bekanntesten gewordene Arbeit der Brüder ist das „Buch über die Messung ebener und sphärischer Figuren, das von *Gerhard von Cremona* bereits übersetzt und mit „**Liber trium fratrum de geometria**“ betitelt wurde; dieses Werk ist angelehnt an *Archimedes* Arbeiten zum Kreis und über Kugel und Zylinder. Auch befassten sie sich mit der von *Eudoxos* entwickelten und von *Archimedes* verfeinerten Exhaustionsmethode sowie mit der Winkeldreiteilung. Außerdem beteiligten sie sich an den gleichzeitigen astronomischen Unternehmungen *al-Mamuns*. – Es handelt sich um

– Jafar Muhammad ibn Musa ibn Shakir,

der älteste, soll der beste Mathematiker unter den Brüdern gewesen sein und arbeitete vor allem zur Geometrie, u.a. setzte er sich kritisch mit den „Konika“ des Apollonios von Perge auseinander.

– Ahmad ibn Musa ibn Shakir

Unter seinem Namen läuft eine Arbeit zur Mechanik und eine zur Pneumatik.

– al-Hasan ibn Musa ibn Shakir

Von ihm stammen eine Arbeit zur Ellipse und – im Anschluss an Archimedes, der damals eben erstmals ins Arabische übersetzt wurde – eine Studie zu den geometrischen Eigenschaften von Kurven.

Ihre Beobachtungen sollen die Banu Musa von ihrem eigenen Haus im Osten Bagdads, in Bab al-Taq am Tigris, aus durchgeführt haben.

In der ersten Hälfte des 9. Jhs entsteht in Bagdad, möglicherweise im Kreise um die *Banu Musa* Brüder ein Werk, das als „**Buch des Sonnenjahres**“ bezeichnet wird und irrig *Thabit ibn-Qurra* zugeschrieben wurde, und die Probleme der Präzession und die daraus resultierende Differenz zwischen dem siderischen und dem tropischen Jahr behandelt¹⁹¹. Aus der – an sich erstaunlich geringen –

191 Das siderische Jahr ist der Zeitraum, der vergeht, bis die Sonne in Hinsicht auf einen Fixstern wieder genau dieselbe Position einnimmt; es dauert 365 d 6 h 9 min und 9,54 sec. Das tropische Jahr hingegen ist jeder Zeitraum, der vergeht, bis die Sonne auf der Ekliptik 360 Grad zurückgelegt hat.; d.h. dieselbe Tag- und Nachtgleiche erreicht hat; seine Dauer ist 365 d 5h 48min 45,2520 sec. Die Differenz resultiert aus der von *Hipparch* entdeckten Präzession der Ekliptik, die bewirkt,

Fehlerhaftigkeit der Messergebnisse bei *Ptolemaios* und den nachfolgenden muslimischen Autoren akkumulierten sich im Verlaufe der Jahrhunderte immer wieder merkliche Differenzen gegenüber den astronomisch beobachtbaren Gegebenheiten, die neuerliche Messungen und die Verbesserung der einschlägigen Tafelwerke notwendig machten – dieser Prozess setzt mit den muslimischen Astronomen ein und führt über die Tafeln des Ilchans über die Toledanischen Tafeln, die Alfonsinischen Tafeln zu den Rudolfinischen Tafeln und mündet schließlich in den modernen Ephemeriden.

Das „Buch vom Sonnenjahr“ gibt eine ausführliche Kritik einer Reihe von Irrtümern bei *Ptolemaios* und von bei diesem gegebenen Werten, fordert die Rückkehr zu den Werten, die *Hipparch* angegeben hatte, tritt aber seinen theoretischen Ausführungen bei. Darüber hinaus gibt das Werk etliche Anregungen, die in der Folge aufgegriffen worden sind. Es beweist dies, wie rasch die muslimische Astronomie über *Ptolemaios* hinausgelangt ist.

Die konstruktive Kritik an *Ptolemaios* ist fortgeführt worden durch

Habash al-Hasib (fl. 859)

al-Hasib ist der Verfasser des als Tafeln von Damaskus bekanntgewordenen astronomischen Werkes, das gewissermaßen als ein den *Almagest* korrigierender und ergänzender Text zu sehen ist und damit in gewisser Hinsicht die mit dem „Buch des Sonnenjahres“ begonnene Tendenz fortführt. Es werden vor allem Kalenderfragen behandelt, die Frage der Mondphasen bzw. der Bewegung des Mondes.

Der vielleicht wirkungsmäßig bedeutendste Wissenschaftler der Frühzeit neben *al-Khwarizmi* war wohl

Abu-l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Kathir al-Farghani (lat. Alfraganus (+ nach 861)

Er war vermutlich wie *al-Khwarizmi* an der Erdvermessung und der Erdkarte beteiligt. Sein Werk – *Elemente der Astronomie* – "Buch über die himmlischen Bewegungen und die Sterne", verfasst vermutlich zwischen 833 und 857, war im wesentlichen eine in der Folge weitverbreitete Zusammenfassung des *Almagest* des *Ptolemaios*, wurde bereits im 12. Jh ins Lateinische übersetzt und hat einen großen Einfluss auf die europäische Astronomie bis auf Regiomontanus ausgeübt. Im 17. Jh ist dann eine arabische Überlieferung aufgetaucht und durch den niederländischen Orientalisten Jakob Golius zugänglich gemacht worden, obgleich keinerlei mathematische Erörterungen gegeben werden. *al-Farghani* korrigiert in mancherlei Hinsicht *Ptolemaios* an Hand der in Bagdad ermittelten

das die Punkte der Tag- und Nachtgleiche (Solstitien) der scheinbaren Sonnenbewegung auf der Ekliptik entgegenwandern, weshalb eben das tropische Jahr kürzer ist. – Aus dem Fortschreiten der Solstitien ergibt sich die Länge des „Platonischen Jahres“ mit etwa 25.800 Jahren. – Auf Grund von Bahnstörungen differiert übrigens der Wert für das tropische Jahr immer wieder geringfügig.

Werte und gibt darin den Erddurchmesser mit 6500 arabischen Meilen an (s.o.); er vertritt auch die richtige Ansicht, dass die Präzession auch für die Planeten gelte. Die Präzession (der Ekliptik) war 150 vChr durch Hipparch von Nikaea entdeckt worden, s.w.o.. Diese Beobachtungen erfordern eine enorme Präzision und Konstanz. Das Werk entspricht in etwa einem modernen Sachbuch mit hohem Niveau.

856 veröffentlicht er eine Arbeit über das Astrolabium, 861 leitete er die Errichtung des Nilometers (zur Feststellung des Pegelstandes des Nils und seiner Veränderungen) in Fustat (Kairo).

Thabit ibn-Qurra (836-901)

Thabit ibn-Qurra stammte aus Harran, wo sich das große Observatorium befand, übersetzte in Bagdad, wo er auch zum Kreis um die *Banu Musa* Brüder stieß, *Apollonios von Perge*, *Euklid*, *Theodosios*, *Ptolemaios*, *Galen*, *Eutocios* und entwickelte sich zu einer der bedeutendsten Persönlichkeiten der frühen muslimischen Naturwissenschaft. Von ihm stammen zahlreiche Kommentare zu den großen Autoren; er entwickelt die Theorie verwandter Zahlen. Durch die Übersetzungen *Thabit ibn-Qurras* und anderer Übersetzer wurden auch die klassische Probleme der alten Mathematiker übernommen, so etwa von *Archimedes* die Teilung einer Kreisfläche in zwei Segmente auf der Grundlage einer Gleichung, die zu kubischen Gleichungen führte.

In der Astronomie war er im Zusammenhang mit der Fortführung der angebahnten Auseinandersetzung mit *Ptolemaios* wesentlich im Sinne einer Geometrisierung resp. überhaupt Mathematisierung dieser Disziplin tätig¹⁹⁴; er fügte er den acht Sphären des *Ptolemaios* eine neunte hinzu, nämlich für die irrig angenommene Schwankung der Äquinoktien. Er ist für die Verbreitung dieses Irrtums verantwortlich. *Thabit ibn-Qurra* schrieb auf Arabisch und auch in Syrisch.

Der bedeutendste Astronom der Frühzeit und einer der bedeutendsten muslimischen Astronomen überhaupt war

Abu Abdallah Mohammed ibn Jabir al-Battani (lat. Albatagnius) (850-929)

al-Battani gilt als der exakteste astronomische Beobachter bis auf seine Zeit (seine Messungen waren tatsächlich exakter als etwa jene des *Kopernikus*, was heute auch damit erklärt wird, dass *al-Battanis* Beobachtungsposition viel weiter im Süden lag und deshalb die durch die atmosphärische Brechung verursachten Störungen geringer waren); er soll durch 41 Jahre (877-918) ohne Unterbrechungen astronomischen Beobachtungen durchgeführt haben und konnte auf dieser Grundlage eine Reihe von

194S. dazu Morelon, Eastern Arabic Astronomy in EHAS I 20-57, 34-46.

astronomischen Größen besser bestimmen; auch leistete er wichtige Beiträge zur Trigonometrie. *al-Battani*, der wie *Thabit ibn-Qurra* aus Harran stammte, aber in ar-Raqqa am Euphrat in Syrien arbeitete, erstellte einen 489 Fixsterne umfassenden Katalog für das Jahr 880 (dessen Daten hinsichtlich der Breiten allerdings auf *Ptolemaios* beruhen), entdeckte die Bewegung der Apsiden¹⁹⁵ – Aphelion und Perihelion –, also dass das Apogäum (der erdfernste Punkt) der Sonne seit *Ptolemaios* um 16#47' zugenommen hatte, und bestimmte die Präzession mit 54,5 sec pro Jahr (richtig: 50,26), die Exzentrizität der Sonnenbahn bestimmte er (weit genauer als *Ptolemaios*) mit dem Wert 0,017326 gegenüber dem heutigen Wert von 0,016771 für das Jahr 880; die Ekliptik mit 23#35 (die arabischen Astronomen interessierten sich erstaunlich früh für die Schwankungen der Ekliptik, die bei etwa einer halben Bogensekunde pro Jahr liegen und für die astronomische Praxis uninteressant waren). Er glaubte nicht an die Schwankungen der Äquinoktien. Die Dauer des Solarjahres bestimmte er auf zwei Minuten genau. Seine besondere Bedeutung liegt in der Weiterentwicklung der Trigonometrie, die dann von *Regiomontan* aufgegriffen und fortgeführt worden ist¹⁹⁶. Es ist von ihm eine Reihe von Schriften überliefert. Sein Hauptwerk bezüglich der Astronomie

- *Kitab al-Zij* – *al-Zij al-Sabi* Sabische Tafel, lateinisch als *De motu stellarum = De numeris stellarum et motibus*; dieses wichtige Werk wurde sehr früh (1116 !) von Plato von Tivoli ins Lateinische übersetzt, Druckausgaben folgten 1537 in Nürnberg und noch 1645 in Bologna, und blieb bis in das 17. Jh, noch für Galilei und Kepler, ein Werk von hoher Autorität, mit dem man sich auf Grundlage der gedruckten Übersetzungen intensiv auseinandersetzte. Noch Jean-Baptiste Joseph Delambre hat in seiner Geschichte der Astronomie im Mittelalter 1819 nicht weniger als 53 Druckseiten der Analyse dieses Werkes gewidmet.. Es ist in 57 Bücher gegliedert, deren erste fünf eine komplette Astronomie einschließlich der Trigonometrie geben, die nicht nur den ersten Beweis des Sinussatzes gibt und die Verhältnisse zwischen den Winkelfunktionen erkennt und als selbstverständlich Tangens und Cotangens benützt, sondern auch die trigonometrische Winkelsätze für das sphärische Dreieck angibt. Die Bücher 5-26 befassen sich mit Spezialproblemen, teils im Anschluss an den *Almagest*; in den Büchern 27-31 diskutiert *al-Battani* die geozentrische Theorie des *Ptolemaios*, erklärt sie aber als für die Praxis wenig wichtig. Die Bücher 32-48 befassen sich mit der Anwendung der Gestirnstafeln; die Kapitel 49-55 befassen sich mit der Astrologie, Kapitel 56 befasst sich mit astronomischen Instrumenten.

¹⁹⁵Diese Bewegung der gedachten Verbindungslinie zwischen den beiden Apsiden resultiert aus Störungen durch andere Himmelskörper und geht in die Richtung der Bahnbewegung. Während die Apsidenbewegung der Erdbahn klein ist, ist die des Mondes sehr groß: 360o in nicht ganz neun Jahren!

¹⁹⁶Es ist das Handexemplar des *Regiomontan* mit zahlreichen Randnotizen erhalten.

al-Battani stand wie andere Astronomen seiner Zeit den bei *Ptolemaios* gegebenen Werten skeptisch gegenüber, akzeptierte aber seine Theorien in bezug auf die Gestirnsbewegungen.. Mit ihm läuft aus, was man in der Astronomie als „Schule von Bagdad“ bezeichnet hat.

Neben den Genannten gab es eine erhebliche Zahl angesehener Astronomen wie etwa

Abd Al-Rahman Al-Sufi (fl. 965)

in Rayy, Shiraz und Isfahan, lateinisch „Azophi“, der um 965 einen Sternenkatalog mit Illustrationen auf Grundlage eigener Beobachtungen publizierte, der eine Überarbeitung des im *Almagest* enthaltenen Katalogs darstellt, die weite Verbreitung fand und auch früh in das Lateinische übersetzt wurde. Auf diesem Wege sind die arabischen Bezeichnungen für die Fixsterne nach Europa gelangt

Durch den Bau des neue Observatorium bei Bagdad um 988 (s.o.) wurde die Forschung direkt im Zentrum weiter stimuliert, was natürlich auch Auswirkungen auf die Mathematik hatte, die im 10. Jh insbesondere in der Trigonometrie erhebliche Fortschritte machte.

Abu-l-Wafa (940-1000)

errechnete Tangens- und Kotangens-Tafeln sowie Sekantentafeln und erarbeitete graphische Lösungen von Gleichungen wie $x^4 = a$, $x^4 + ax^3 = b$.

Abu'l-Hasan Ali ibn Abd al Rahman Ibn Yunus, 950–1009

Ibn Yunus war der bedeutendste islamische Astronom, Astrologe und vor allem Trigonometriker in Kairo, mit großartigen Forschungsmöglichkeiten an der Akademie des al-Hakim (+1021). *al-Haytham* war zeitweise sein Kollege. Sein Hauptwerk ist das

- *al-Zij al-Hakimi al-kabir*, eine dem Kalifen al-Hakim gewidmete, sehr umfangreiche „komplette“ Astronomie in 81 Kapiteln (meist als „Hakimi zij“, „Zij“ bedeutet soviel wie „astronomisches Handbuch samt Tafeln“. zitiert). In denen er eine Fülle von eigenen und fremden Beobachtungen beschreibt, darunter 40 Planetenkonjunktionen und 30 Mondfinsternisse, wobei die Daten mit den heute zu ermittelnden weitestgehend übereinstimmen. Das Werk enthält aber auch umfangreiche Kalenderangaben für verschiedene Systeme (muslimisch, persisch, koptisch und syrisch). *Ibn Yunus* hat mit Hilfe von *Regulus* die Bewegung des Fixsternhimmels gemessen und (unter Heranziehung auch der Angaben *Hipparchs*) festgestellt, dass sich Fixsternhimmel in 70,25 Jahren zu 365 Tagen um 1° verschiebe – es ist dies die präziseste Messung unter allen in der muslimischen Astronomie! Auch die trigonometrischen Tafeln, die *Ibn Yunus* in seinem Werk gibt, sind von ungeheurer Präzision

und Verlässlichkeit. Das Werk enthält auch Hunderte von astronomischen Formeln (die in ihrer Entstehung aber nicht erläutert werden) samt zugehörigen Rechenbeispielen.

- Kitab ghayat at-intifa – Nützliche Tafeln, dies war ein astronomisches Tafelwerk für chronologische Zwecke, das in Kairo bis in das 19. Jh verwendet worden ist. Die muslimischen Gebetszeiten unterliegen exakten Angaben in Bezug auf den Sonnenstand und dies war auch stets ein Anlaß, sich eingehend mit der Astronomie zu befassen..

Abu Bakr ibn Muhammad ibn al-Husayn al-Karaji (+ ca. 1029)

al-Karaji – der auch unter anderen Namen figuriert – war nicht nur Mathematiker, sondern auch Ingenieur. Die Mathematikhistoriker sind sich hinsichtlich seiner Bewertung nicht einig. Während ihn die einen für konventionell und wenig bedeutend halten, rühmen ihn andere als einen der Begründer einer neuen Algebra, als denjenigen, der als erster unter den Muslimen eine theoretische Grundlegung und Arithmetisierung der Algebra unternommen habe und als ein Vorläufer des Omar *al-Khayyam* zu sehen sei. *Cantor* sieht ihn als einen prononcierten Vertreter einer aus den griechischen Quellen schöpfenden Mathematik und als solchen im Gegensatz zu einer eher die indische Mathematik vertretenden Schule²⁰⁰. *al-Karaji*, der die ersten fünf der insgesamt 13 bzw. der 6 erhaltenen Bücher *Diophants* übersetzt hat und an diesem geschult ist, löste eine Reihe von Problemen des *Diophant* und stellte neue auf. Außerdem befasste er sich mit dem Binomialsatz, stieß zu Polynomen vor und entwickelte das *Pascalsche* Dreieck. Sein Hauptwerk

- Al-Fakhri – Buch der Arithmetik, ist dem Herrscher Bagdads gewidmet und auch in Bagdad entstanden; hier führt er seine Vorstellungen aus, legt damit den Grund für bedeutende nachfolgende Fortschritte; breiten Raum nehmen die Rechenregeln für Monome, Binome und Polynome ein; auch befasst er sich mit irrationalen Zahlen und mit geometrischer Algebra, wobei er von Euklids Definitionen ausgeht, sowie insbesondere mit dem (wohl von Theaitetos stammenden) 10. Buch der Euklidschen Elemente, das sich mit den Inkommensurabilien auseinandersetzt. Als zentrale Aufgabe der Algebra formuliert *al-Karaji* „die Bestimmung von Unbekannten auf der Grundlage von Bekannten. Die Algebra habe mit Hilfe der Transformierung von Gleichungen zu erweisen, wie unbekannte Quantitäten durch bekannte Quantitäten bestimmt sind“.

Abu Arrayhan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973–1048)

²⁰⁰*Cantor* räumt der Darstellung von *al-Karajis* (= „Al-Karchi“) Wirken breiten Raum ein (I 718-729) und weist darauf hin, daß *al-Karaji* die indischen Zahlen ignoriert und auch die schwierigsten Ausführungen rein verbal gestaltet habe, was die Interpretation seiner Arbeiten erheblich erschwere; möglicherweise seien ihm die indischen Zahlen zu vulgär gewesen, vielleicht habe er auch nur die griechische Schule damit herausstreichen wollen.

al-Biruni war um 994 in Rayy (Rey, nahe Teheran) tätig, wo der dortige Herrscher auf einem Berg einen großen gemauerten Sextanten errichtet hatte, mit dessen Hilfe er Beobachtungen anstellte; das Gerät erwies sich allerdings auf Grund der Größe seiner beweglichen Teile als unzuverlässig. Später ging er in den Osten, bis nach Indien, und starb schließlich in Afghanistan. Man weist ihm heute 146 Werke in nahezu allen Wissensgebieten (mit Ausnahme der Biologie) im Umfang von insgesamt 13.000 Manuskriptseiten zu²⁰¹. 39 Werke sind allein der Astronomie zuzurechnen, 23 der Astrologie, 15 der Mathematik (8 der Arithmetik, 5 der Geometrie, 2 der Trigonometrie) und 5 der Chronologie. Obgleich er vor allem Historiker war, verfügte er über exzellente Kenntnisse hinsichtlich der Anwendung der indischen Zahlen und schuf eine große astronomische Enzyklopädie und diverse Abhandlungen zur Chronologie (wobei er hinsichtlich des Kalenderwesens sogar das in China gebräuchliche System mit einbezieht) und zur Mathematik, die z.T. im

- *al-Qanun al-Masudi*, Tafel, die dem Masudi gewidmet sind, zusammengefasst sind (allein ihre Edition umfasst 1482 Druckseiten!)

al-Biruni er konstruiert das wegen der Winkel von 40° bzw. 20° für die Erstellung der Sinustafeln wichtige 9- und das 18-Eck, betrieb neben der Astronomie auch Astrologie und stellte experimentelle Messungen zur Dichte verschiedener Edelsteine und Metalle an. Er erkannte auch, dass die Geschwindigkeit des Lichts unvergleichlich größer ist als die des Schalls. Sein Werk

- *Schatten* ist eine außerordentlich wichtige Quelle zur Geschichte von Astronomie, Mathematik und Physik; das Werk befasst sich in 30 Kapitel mit allem, was irgendwie mit dem Phänomen Schatten zusammenhängt, bis hinein in die Trigonometrie.

Mit *al-Biruni* endet die erste Phase der muslimischen Astronomie, die von der Auseinandersetzung mit *Ptolemaios* und der Akzeptierung seines Systems geprägt ist und die von *al-Haytham* überwunden wird. Es setzt im 11. Jh in der Astronomie eine Entwicklung ein, die ihren Höhepunkt in der Schule von Maragha findet, mit deren Nachhall zwar die originäre Entwicklung in der muslimischen Astronomie ausläuft, die aber ihrerseits ihren Einfluß bis weit hinein in die abendländische Astronomie entfaltet hat. Es ist diese Entwicklung bestimmt durch die Behandlung von Problemen, mit deren Behandlung bei *Ptolemaios* man nicht einverstanden war, da sie sich entweder als falsch oder unpräzise erwies, oder von Fragen, die bei *Ptolemaios* überhaupt noch nicht aufgetreten waren. Es waren dies im wesentlichen vier Probleme, deren Auflistung mit einem eigenen Begriff – *ishkalat* – bezeichnet wurde. Es waren dies insgesamt sieben Probleme – u.a. das Problem der Beschleunigung und Verlangsamung des Laufes eines Himmelskörpers, spezifische Fragen hinsichtlich der Merkur- und der Venusbahn, die Frage des Aequanten bezüglich der oberen Planeten und die Frage der Planetendistanzen unter

²⁰¹Eine Übersicht dazu in DSB.

dem Aspekt ihrer Bewegung innerhalb von ineinandergeschachtelten Sphären und schließlich auch der Umstand, dass eine gleichförmige Bewegung um einen Punkt postuliert wird, der nicht im Zentrum des „generierenden“ Körpers liegt (das Problem des Aequanten). Die meisten Probleme konnten mit der Theorie des *Ptolemaios* gelöst werden, einige wurden später gelöst, z.B. durch die Tusi-Paare. Das zuletzt genannte Problem eröffnete aber eine Diskrepanz zwischen physikalisch bedingten Annahmen und mathematischen Annahmen, sodaß sich die Frage erhob, was eigentlich das Ziel sei, eine brauchbare Theorie zu entwickeln oder den Erscheinungen in der Natur gerecht zu werden. Der Mann, der diese Problematik zuerst und in aller Klarheit und Schärfe aufgriff, war

Abu Ali Al-Hasan ibn Al-Hasan Ibn Al-Haytham, lat. Alhazen (965-1040)

s. auch w.u. unter Optik. *al-Haytham* nimmt in der muslimischen Naturwissenschaft eine besondere Stellung ein. Der Astronomie hat er nicht weniger als 20 Arbeiten gewidmet, was ihm zusammen mit seiner kritischen Auseinandersetzung mit *Ptolemaios* den Beinamen „zweiter Ptolemaios“ eingetragen hat. Gleichwohl wird ihm unter spezifisch astronomischen Aspekten kein Spitzenrang attestiert, auch wenn er großen Einfluss ausgeübt hat.

- *Hayat al-alam* = Die Struktur der Welt, ist ein eher frühes Werk, das im Wesentlichen eine klare Einführung in die ptolemaische Astronomie zu geben und die physikalischen Gegebenheiten zu ermitteln sucht, die der Theorie zugrunde liegen; insofern stellt gewissermaßen ein Programm dar, das im Zusammenhang mit der nachfolgenden Kritik an Ptolemaios an Gewicht gewinnen sollte. Das Werk wurde in das Spanische und dann in das Lateinische übersetzt und unter dem Titel „*Liber de mundo et coelo*“ verbreitet wurde; es hat auch Peurbachs „*Theoricae novae planetarum*“ beeinflusst. *al-Haytham* vertritt im Gegensatz zu seiner späteren Optik in dieser Schrift noch die Vorstellung, dass beim Akt des Sehens Strahlen vom Auge ausgehen. Der Mond ist ihm ein glatter, gleichsam polierter Körper, der das Licht der Sonne reflektiert.
- *al-Shukuk ala Batlamyus* = Kritik an Ptolemaios, dieses zentrale Werk resultiert aus der Fortführung der mit „Die Struktur der Welt“ aufgenommenen kritischen Auseinandersetzung mit Ptolemaios und aus der Reaktion auf auch von anderen Astronomen geübten Kritik an einzelnen Aspekten des ptolemaischen Systems, aber auch in anderen Zusammenhängen – das Werk unterzieht nicht nur den *Almagest*, sondern auch des Ptolemaios Planetentheorie und dessen Optik der Kritik. *al-Haytham* weist Ptolemaios diverse Inkonsistenzen und Widersprüchlichkeiten nach und erhebt den Vorwurf, der *Almagest* sei ein abstraktes Werk, in dem Ptolemaios zur „Rettung“ theoretischer Ansätze geometrische Konstruktionen eingeführt habe, die der physikalischen Wirklichkeit nicht gerecht würden. *al-Haytham* argumentiert: “It becomes clear, from all that we have shown so far, that the configuration, which Ptolemy had established for the motion of the five planets, is a

false configuration, and that the motions of these planets must have a correct configuration, which includes bodies moving in a uniform, perpetual, and continuous motion, without having to suffer contradiction, or be blemished by any doubt. That configuration must be other than the one established by Ptolemy.” Nach Hassan Tahiri, *The birth of scientific controversies* (s.o. und diesen File), der diese Auseinandersetzung eingehend behandelt. – insbesondere wendet sich al-Haytham gegen das von Ptolemaios eingeführte Element des Äquanten. al-Haythams Einwendungen haben die nachfolgenden Generationen der muslimischen Astronomie sehr beschäftigt, insbesondere al-Tusi in Maghara. Mit al-Haythams Kritik verliert der *Almagest* des Ptolemaios seine unangefochtene Position, die darin vertretene Planetentheorie wird praktisch verworfen und man bemüht sich in der muslimischen Astronomie (insbesondere dann in Maragha), eine neue zu entwickeln, die sich an den physikalischen Aspekten orientiert. Der Wissenschaftshistoriker George Saliba bringt die Problematik auf den Punkt, wenn er formuliert Saliba, G.: 2000, ‘Arabic versus Greek Astronomy: A Debate over the Foundations of Science’, *Perspectives on Science* 8.4, pp. 328-341, 331 (nach Tahiri 24).: “To Arabic astronomers the world was constituted in only one of two ways: either it was made of real physical bodies that retained their physical properties throughout the process of accounting for their observable behavior, or of imaginary mathematical concepts that do not apply to this particular world that we see. One could not have it both ways, as Ptolemy seemed to be doing.”

al-Haytham hat nicht nur in der Astronomie, sondern auch in der Optik Kritik an *Ptolemaios* geübt. In beiden Bereichen hat er bessere Theorien gefordert, und es war ihm klar, dass diese Forderung erst von künftigen Generationen eingelöst werden würde. Es war ihm somit Wissenschaft ein letztlich offener Diskussionsprozess. Seine Kritik ist im Speziellen wie auch als ein generelles Phänomen sowohl im Osten als auch im Westen des muslimischen Raumes von namhaften Denkern aufgegriffen worden, die sich vielfach auf ihn beziehen.

An der Auseinandersetzung mit *Ptolemaios* entzündeten sich sehr interessante allgemein kritische und wissenschaftliches Vorgehen reflektierende Äußerungen *al-Haythams*, in der es wesentlich um die Frage, ob eine Theorie die Erscheinungen „retten“ soll (wie dies schon bei *Platon* als Problem auftritt²⁰⁴) oder ob sie die den Erscheinungen zugrunde liegende Ordnung erklären soll. Es ist bezeichnend für die Schwierigkeiten, denen wissenschaftshistorische Untersuchungen und damit auch Darstellungen immer wieder ausgesetzt sind, dass die Interpretation des bei *al-Haytham* gegebenen Wortlautes einiger essentieller Passagen Gegenstand laufender Auseinandersetzungen ist²⁰⁵. *al-Haytham* entwickelt in seiner Kontroverse mit *Ptolemaios* das Bild einer Wissenschaft, die ein offenes und in steter

204 „Die Rettung der der Erscheinungen“, „#####“: Essai sur la notion de théorie physique“, ist auch der Titel der 1994 erschienenen Kurzfassung von Pierre Duhems zehnbändigem Hauptwerk *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris (Tahiri 35).

205 Tahiri 22-24.

Entwicklung befindliches System ist und innerhalb dessen der einzelne, keineswegs fehlerfreie Wissenschaftler agiert²⁰⁶; sein Vorwurf gegenüber *Ptolemaios* ist, dass er dieser gewissermaßen die Möglichkeit einer besser Theorie als der seinen leugnet. Dies führt ihn zur Feststellung: „*Truth is sought for its own sake. And those who are engaged upon the quest for anything that is sought for its own sake are not interested in other things. Finding the truth is difficult, and the road it is rough. For the truths are plunged into obscurity. It is natural to everyone to regard scientists favourably. Consequently a person who studies their books, giving a free rein to his natural disposition and making his object to understand what they say and to possess himself of what they put forward comes to consider as truth the notions they had in mind and the ends which they indicate. [...] It is not the person who studies the book of his predecessors and gives a free rein to his natural disposition to regard them favourably who is the [real] seeker after truth. But rather the person who in thinking about them is filled with doubts, who holds back with his judgement with respect to what he has understood of what they say, who follows proofs by argumentation and demonstration rather than the asseertions of a man, whose natural disposition is characterised by all kinds of defects and shortcomings. „A person, who studies scientific books aiming at the knowledge of the real facts, ought to turn himself into an opponent of everything that he studies, he should thoroughly assess its main as well as its marginal parts, and oppose it from every point of view and in all its aspects. And while thus engaged in his opposition, he should also be suspicious of himself and not allow himself to become abusive or be indulgent (in his assessment). If he takes this course, the real facts will be revealed to him, and the possible shortcomings and flaws of his predecessors' discours will stand out clearly.*”

In Zusammenhang mit seinen Arbeiten zur Optik ist *al-Haytham* auch als exzellenter Mathematiker hervorgetreten, der sich intensiv mit *Euklid*, insbesondere auch mit dem Parallelenaxiom, und mit der Frage von Quadraturen befasst hat.

In der Nachfolge *al-Haythams* setzten vermehrt Versuche ein, das ptolemaische System der Exzenter, Äquanten und Epizykel wieder durch ein „bereinigtes“, den philosophischen Vorstellungen im Sinne des *Aristoteles* entsprechendes System zu ersetzen, in dem jedem Planeten eine Sphäre zugeordnet sein sollte, innerhalb derer er sich bewegt. Im Zuge dieser Bemühungen ging *Averroes* soweit, zu erklären: „*Die Existenz einer exzentrischen oder einer epizyklischen Sphäre zu behaupten ist im Widerspruch zur Natur [...] Die Astronomie unserer Zeit bietet keine Wahrheit, sondern stimmt lediglich mit den Rechnungen überein und nicht mit dem, was dahinter steht.*“²⁰⁷.

206. „*God has not preserved the scientist from error and has not safeguarded science from shortcomings and faults.*“, Tahiri 25.

207. Owen Gingerich, Die islamische Periode der Astronomie, in: *Spektrum der Wissenschaft* 1984,4 100-109, 108. – Eine eingehende Darstellung der verschiedenen Modifikationen der ptolemaischen Planetentheorie in der muslimischen Astronomie gibt George Saliba, *Arabic planetary theories after the eleventh century AD*. In: *Encyclopedia of the History of Arabic Science* (= EHAS), 3 Bde hg. von Roshdi Rashed, London – New York 1996, I 58-127.

Abu Ishaq Ibrahim ibn Yahya al-Zarqali (Arzachel, Sarkala, span. Azarquiel)
(1028-1087)

war Astronom in Toledo, später Cordoba und schließlich in Sevilla. *al-Zarqali* ging vom Instrumentenbau aus – er fertigte plane Astrolabien, die für alle Breitengrade benutzbar wurden, und auch die vielfach gerühmten Wasseruhren in Toledo, die bis 1133 arbeiteten, bis sie zur Erkundung ihrer Bauweise zerlegt wurden und nicht mehr zusammengesetzt werden konnten; eine dieser Uhren zeigte den Tag des Mondmonats an. Von ihm sind sieben astronomische Arbeiten bekannt, die z.T. verloren sind; etliche von ihnen befassten sich mit astronomischen Instrumenten; eine Schrift handelte über die Trepidation der Fixsterne – eine irrige Theorie, derzufolge die Sphäre der Fixsterne neben der Rotation noch eine oszillierende Bewegung ausführen sollte; diese Theorie hielt sich bis in das 16. Jh. Die bedeutendste Leistung *al-Zarqalis* vermochte auch die Bewegung der Apsiden der Erdbahn gegenüber dem Fixsternhimmel mit 12,04 Bogensekunden pro Jahr erstaunlich exakt zu belegen (heute: 11,8 Bogensekunden). Auch korrigierte er die Längenerstreckung des Mittelmeers, die bei *Ptolemaios* mit 62° angegeben war, auf gut zutreffende 42°. Seine bedeutendsten Arbeiten waren jedoch letztlich – die Tafeln von Toledo, ein umfassendes astronomisches Tafelwerk, dessen trigonometrische Einleitung er verfasste, an dessen Beobachtungsdaten er wesentlichen Anteil hatte und das Ausgangspunkt der nachfolgenden abendländischen Ephemeriden geworden ist, zumal es eine Reihe von separierten Tafeln im muslimischen Bereich zusammenfasste (u.a. von al-Khwarizmi und al-Battani). Die toledanischen Tafeln, die sehr bald von Gerhard von Cremona übersetzt wurden, haben zweifellos auch die Entstehung der sie ablösenden Alfonsinischen Tafeln (veranlasst durch Alfons von Kastilien X und erarbeitet um 1250) beeinflusst, die ihrerseits 1627 durch die Rudolfinischen Tafeln Keplers abgelöst worden sind.

- Almanach, eine Ephemeride, die insbesondere in der Navigation zur Bestimmung der geographischen Länge herangezogen wurde.

Ghiyath al-Din Abu'l-Fath Umar ibn Ibrahim al-Nisaburi al-Khayyam (1048-1131)

Er²⁰⁸ verfasste früh Werke zur Arithmetik, zur Algebra und zur Musiktheorie, und arbeitete zeitweise in Sarmakand, dann für 18 Jahre in Isfahan, wo er dem dort neu errichteten Observatorium und dem dortigen Gelehrtenstab vorstand – er befasste sich damals neben mathematischen Studien mit einem astronomischen Tafelwerk und an einer Kalenderreform, die er 1079 vorlegte und die zur Grundlage des islamischen Kalenders wurde. Dabei nahm er die Jahreslänge mit 365,24219858156 Tagen an. –

²⁰⁸Dieser Name erweist so recht die Kompliziertheit „arabischer“ Namen: der eigentliche persönliche Name ist Umar, al-Nisaburi verweist auf seinen Geburtsort Nishapur (heute im Iran), ibn Ibrahim ist der Vatersname und al-Khayyam weist aus, daß der Vater Ibrahim ein Zeltmacher war; Ghiyath al-Din (= die Hilfe der Vorsehung) ist ein ehrender Beiname, den er im späteren Verlaufe seines Lebens erhielt. Der Name wird u.a. auch mit „Umar Haiyaam“ widergegeben.

was schier unglaublich ist: wir wissen heute, dass die Tageslänge innerhalb eines Menschenlebens von der sechsten Dezimalstelle an schwankt, und: um 1900 wurde die Jahreslänge mit 365,242190 Tagen angegeben; *al-Khayyams* Wert differiert vom modernen Wert um 0,0002 Tage (= 17,28 Sekunden! = in 5000 Jahren um einen Tag²⁰⁹). 1092 endete die Zeit ruhigen Arbeitens in Isfahan. Obgleich er selbst nicht an die Astrologie glaubte, diente er dem Sultan auch als Astrologe. In dieser Zeit befasste er sich eingehend mit dem *Euklidschen* Parallelenaxiom und mit der Proportionentheorie – es entstanden so seine heute als bedeutendst eingeschätzten Arbeiten. 1118 ging er nach Merv (heute Mary in Turkmenistan), wo ein seldschukisches Wissenschaftszentrum entstanden war, an dem er seine Arbeit fortsetzte.

- Mushkilat al-hisab = Probleme der Arithmetik, ist verloren
- Risala fi'l-barahin ala masail ..., *al-Khayyams* Hauptwerk zur Algebra; in diesem Werk befasst er sich eingehend mit der Gleichungslehre, die er von *al-Khwarizmi* ausgehend erweitert, wobei er sich mit den Methoden des Wurzelziehens der HindusEs handelt sich um ein Schema zur Umwandlung von Polynomen, das den Hindus bekannt war, dann in China um 1303 neuerlich, von (ein Verfahren, das erst zu Beginn des 19. Jhs durch Paolo Ruffini (1765-1822) um 1800 und 15 Jahre später von William George Horner (1786-1837) neuerlich entdeckt wurde und seither als Ruffini Horner-verfahren bekannt ist.) auseinandersetzt; *al-Khayyam* glaubte allerdings, dass kubische Gleichungen nur durch geometrische Verfahren (Konstruktionen einander schneidender Kegelschnitte) gelöst werden könnten; er erkannte aber als erster, dass kubische Gleichungen auf zwei Wurzeln hinauslaufen können, erkannte aber nicht die dritte Möglichkeit. *al-Khayyam* analysierte aber Gleichungen höherer Grade und zerlegte sie in Gruppen, was von grundlegender Bedeutung war und ihm „eine hervorragende Stellung in der Geschichte der Algebra“ zuweist (Cantor); *al-Khayyam* geht damit wesentlich über *al-Khwarizmi* hinaus und ist auf Grund seiner Leistungen auch als "höchster Gipfel der mittelalterlichen Mathematik" bezeichnet worden.
- Sharh ma ashkala min musadarat kitab Uqlidis = Kommentar zu Euklids Elementa, diese Arbeit bezieht sich insbesondere auf die Proportionenlehre im 5. Buch Euklids, eingehend auf das Parallelenaxiom und auf die quadratischen irrationalen Zahlen im 10. Buch. Es haben die Muslime verschiedentlich versucht, Euklids Arbeiten zu erweitern, und dies galt besonders für die Proportionenlehre, in Bezug auf welche *al-Khayyam* eine seiner größten Leistungen erbracht hat, die ihn auch zu einem neuen über die Griechen hinausgehenden Zahlenbegriff geführt hat. Diese Arbeiten sind im muslimischen Bereich vor allem von *al-Tusi* und in Europa in der Zeit des 15.-17. Jhs fortgeführt worden.

²⁰⁹Zum Vergleich: unser gregorianische Kalender weist bereits nach 3,333 Jahren einen Fehler von 1 Tag auf. – Es steht allerdings zu vermuten, dass *al-Khayyams* Wert in seiner Exaktheit aus einer Proportion herrührt, womit die Zahl hinsichtlich ihrer Dezimalstellen nicht mehr Ausdruck von Exaktheit der Messung ist.

Obgleich *al-Khayyam* fünf philosophische Bücher geschrieben hat und auch seine Dichtung teilweise philosophischer Natur ist, ist es kaum möglich, ihn einzuordnen, und es gibt darüber sehr unterschiedliche Ansichten. In Europa ist *al-Khayyam* im 19. Jh durch die Übersetzungen seiner Gedichte weiteren Kreisen bekannt geworden.

Abu Gafar Muhammad ibn Muhammad ibn al-Hasan Nasir al-Din al-Tusi
(1201-1274)

Bereits mit seinen frühen Arbeiten zur Logik, Philosophie, Astronomie und Mathematik erwarb sich *al-Tusi* einen bis China reichenden Ruf. 1256 trat er in Hulagu Khans Dienst, wurde auch dessen Hofastrologe und nahm 1258 an der Eroberung Bagdads teil, nach der er Hulagu für den Bau eines Observatoriums zu gewinnen wusste: so entstand das große Observatorium zu Maragha (s.w.o.), das teilweise auch mit von *al-Tusi* entworfenen Instrumenten ausgestattet wurde und eigentlich ein astronomisch-mathematisches Forschungszentrum mit großem Mitarbeiterstab war (ein großer Teil der Mitarbeiter ist namentlich bekannt).

Es sind rund 150 *Arbeiten* und Briefe von *al-Tusi* erhalten, 25 davon auf Persisch, der Rest in Arabisch; er beherrschte aber auch das Türkische und soll auch Griechisch gekonnt haben. Seine wesentlichsten Leistungen erbrachte er in der Astronomie, in der er als Begründer und Haupt der „Maragha-Schule“ bzw. der „östlichen Schule“ Bedeutung erlangte. *al-Tusi* setzte sich – in Fortführung der Kritik *al-Haythams* an *Ptolemaios* – intensiv in kritischen Schriften mit den griechischen Klassikern auseinander und suchte insbesondere die Theorien des *Ptolemaios* zu verbessern, wobei er sich vor allem gegen die Theorie des Äquanten wandte; allerdings gelang es ihm ebenso wenig wie den nachfolgenden Bemühungen, die Exzentrizität aus der Planetentheorie zu verbannen. Sein bekanntestes Werk sind die – Zij-i ilkhani – „Ilchanische Tafeln“, dieses astronomische Tafelwerk wurde nach 12jähriger Beobachtung erst in persischer Sprache erstellt, dann ins Arabische übersetzt; das Werk enthält auch einen Sternkatalog astronomische Tafelwerk, später folgte eine partielle Übersetzung ins Lateinische – Tadhira fi'ilm al-haia = Schatzkammer der Astronomie, ein Werk das große Verbreitung gefunden hat, behandelte: Geometrische und bewegungskundliche Einführung; Ruhe, einfache und zusammengesetzte Bewegung; allgemeine astronomische Bemerkungen zu einer Fülle von Problemen: Ekliptik, Sphärenmechanik, Kritik des Almagest, Anomalien der Mondbahn, Bahn von Merkur und Venus; als die großartigste Leistung darin wird sein neuer Vorschlag hinsichtlich der Interpretation des Planetensystems bewertet, der das komplizierte ptolemäische System verbessert und vor allem der Äquant abgeschafft werden sollte, das aber seinerseits ziemlich kompliziert war – es handelt sich um die so genannten „Tusi-Paare“, zwei Kreise mit versetzten Zentren, auf denen in Überlagerung zweier Kreisbewegungen die Epizykel so laufen, dass daraus eine mit den

Beobachtungen übereinstimmende „geradlinige“ Bewegung der Planeten resultieren soll; dieses System wird von Qutb al-Shirazi und nachfolgenden Astronomen weiter verfolgt, die auch andere Alternativen entwickeln, die jedoch allesamt nicht um die von ihnen angefeindete Exzentrizität verzichten konnten. Die Vorstellungen al-Tusis sind weit verbreitet worden und haben u. U.– vielleicht über byzantinische Mittler – auch Kopernikus inspiriert. Neugebauer schreibt dazu: “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 N.M. Swerdlow, *Mathematical Astronomy in Copernicus’s De Revolutionibus*, 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. Eingehender befasst sich 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.. Das Werk behandelt weiters die Erde, Einflüsse auf sie durch Himmelskörper, Geodäsie, Gezeiten, Winde; Größe und Distanzen der Planeten.

– Mutawassitat – eine Zusammenfassung der Astronomie.

al-Tusi verfasste auch zahlreiche Schriften zur Geometrie und Arithmetik, die bedeutendsten mathematischen Leistungen erbrachte er in der Trigonometrie, in deren Entwicklung er eine zentrale Figur ist, ja die er geradezu als selbständigen Wissenszweig unabhängig von der Astronomie begründet hat; dies vollzog er in seinem Werk

– *Shakl al-qita* Im Englischen als „Treatise on the quadrilateral“ bezeichnet. – Über die Figur der Schneidenden, d.h. über den Satz des Menelaos Menelaos von Alexandria, um 100 nChr, entwickelte aus der ebenen Trigonometrie die Anfänge der sphärischen Trigonometrie., auf dem al-Tusi „eine ganz vollständige ebene und sphärische Trigonometrie aufbaut, welche hier zum ersten Male als Theile der reinen Geometrie erscheinen, d.h. nicht mehr bloss als Einleitung zur Astronomie

dienen“ (Cantor). al-Tusi kennt die sechs Hauptformeln des rechtwinkligen, aber auch des schiefwinkligen Dreiecks. In DSB wird dieses Werk als „a landmark in the history of mathematics“ bezeichnet.

– Klassifikation der Wissenschaften:

- 1 Spekulative Wissenschaften: Metaphysik, Theologie; Mathematik (inkl. Musik, Optik und Mechanik); Naturwissenschaft (Elemente, Wissenschaft von den Verwandlungen, Meteorologie, Mineralogie, Botanik, Zoologie, Psychologie, Medizin, Astrologie, Agrikultur etc.),
- 2 Praktische Wissenschaften: Ethik; Haushaltsökonomie; Politik, Logik ist nicht enthalten, weil sie als ein übergeordnetes allgemeines Werkzeug aufgefasst wird. dazu J. Stephenson, The classification of the sciences according to Nasiruddin Tusi, in: Isis 5 (1923) 329-338, 11,428. .

Weiters verfasste *al-Tusi* zahlreiche Schriften zur Astronomie und Astrologie, Kalender, Optik, Mineralogie, Musik, Geographie, Medizin, Logik, Erkenntnistheorie, Sexualehre, Ethik, Mystik Philosophie, Theologie, Ethik und Poesie.

al-Tusi hatte zahlreiche Schüler; seine Werke wurden sehr rasch ins Arabische übersetzt, vielfach abgeschrieben und wirkten in China und in Europa bis in das 18. Jh hinein nach; sie sind im islamischen Bereich heute noch präsent. Sein Einfluss in der islamischen Wissenschaftsentwicklung ist enorm, auch dadurch, dass Maragha ein erstrangiges Wissenschaftszentrum war, das auch nach China und Indien ausstrahlte und die Struktur und Arbeit der nachfolgenden Observatorien in Sarmakand und in Indien beeinflusste.

Naim al-Din Umar al-Qazvini (+ 1283)

al-Din Umar soll in Maragha mitgearbeitet haben und diskutierte in Persien die Erdrotation. Die alte Frage, ob ein Vogel mithalten könne, beantwortete er dahingehend, dass die Atmosphäre mitrotiere.

Qutb al-Din Mahmud al-Shirazi (1236-1311)

Qutb al-Shirazi wurde nach längerer Ausbildungsreise 1262 Schüler des *al-Tusi* in Maragha und arbeitet sich in die Astronomie ein, ging dann später u.a. nach Bagdad, Konya und Täbris an den Hof des Sohnes von Hulagu Khan, der ihn als Gesandten zum Mamelukensultan nach Ägypten sendet. Auf dieser Reise gewinnt er den lange gesuchten Zugang zu wichtigen Kommentaren zu Werken des *Ibn Sina*, die Grundlage für seine eigenen Kommentare zu *Ibn Sina* werden. Von *Qutb al-Shirazi* sind zahlreiche Werke auf verschiedenen Wissenschaftsgebieten überliefert, allerdings zumeist nur als Manuskripte, es sind – obgleich er der gefeierte persische Gelehrte schlechthin ist – nur zwei Werke gedruckt worden.

- Schriften zur Geometrie: „Bemerkungen zu Euklids Elementa“ und „Über die Bewegung des Rollens und die Beziehung zwischen dem Geraden und dem Gekrümmten“
- Schriften zur Astronomie: elf Arbeiten sind bekannt; das Hauptwerk ist eine Astronomie in vier Büchern, die über al-Haytham und al-Biruni hinausgehend neue Theorien vorstellt, sowie eine Kurzfassung des Hauptwerkes, das als die beste persische Arbeit zur Astronomie zu betrachten ist.
- eine Fülle von philosophischen und theologischen Schriften (insbesondere zum Sufismus)

Mathematik erachtete *Qutb al-Shirazi* als das beste Mittel zur inneren Disziplinierung und als die beste Vorbereitung auf die Metaphysik. Besondere Aufmerksamkeit widmet er der Optik, in der er eine der ersten brauchbaren Erklärungen des Regenbogens liefert, indem er mit seinen Schülern den Regenbogen als Resultat einer doppelten Brechung des Lichtes im Regentropfen erklärt (die Farben kann er natürlich nicht erklären) – diese Erklärung wird als praktisch der des *Descartes* gleichwertig betrachtet; *Qutb al-Shirazi* begründet mit seinen Schülern gewissermaßen eine eigene Disziplin in an der muslimischen Physik bzw. Optik, die sich mit dem Regenbogen befasst (*qaws qazah*), die auch Eingang findet in die Klassifikationssysteme jener Zeit. Licht ist für ihn die Quelle aller Bewegungen. In der Astronomie setzt er die Vorstellungen von *al-Tusi* fort.

Qutb al-Shirazi hat persönlich wie durch eine Reihe bedeutender Schüler enormen Einfluss ausgeübt, insbesondere und lange noch in Indien.

Ibn al-Banna al-Marrakushi = Abu'l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Uthman al-Azdi (1256-1321)

Ibn al-Banna lebte in Marrakesh, wo er eine umfassende Ausbildung in allen Bereichen genoß. Es sind 82 seiner Werke überliefert, die bedeutendsten sind eine Einführung in *Euklid*, zur Flächenlehre und zur Algebra – interessant insbesondere hinsichtlich des Bruchrechnens. *Ibn Khaldun* war ein Enkelschüler des *al-Banna*.

Ibn asch-Schatir (fl. 1350)

Ibn asch-Schatir, der erst zu Ende der 1950er Jahre durch einen Manuskriptfund in Beirut entdeckt wurde, lebte um 1350 in Damaskus. Er bemühte sich als Astronom um die schon von *al-Haytham* eingeleitete „Bereinigung“ der ptolemäischen Planetentheorie und entwickelte ein System ohne Äquant und mit konzentrischen Bahnen für die Planeten und für Sonne und Mond, wobei er den komplizierten bahnverläufen durch die Einführung doppelter Epizykeln gerecht zu werden suchte (Epizykel auf den Epizykeln. Dasselbe System hat – allerdings in heliozentrischer Version – *Kopernikus* im „*Commentariolus*“ verwendet – später, in „*De revolutionibus*“ – ist er wieder zu exzentrischen Bahnen zurückgekehrt, wobei dieses Modell stark jenem ähnelte, das in Maragha entwickelt worden war. Aus

diesem Umstand resultiert die strittige Frage, ob *Kopernikus* von Maragha oder gar von *Ibn asch-Schatir* beeinflusst worden sei.

Arabische Astronomen bauten im 13. Jh mehrere noch erhaltene Himmelsgloben, einer von ihnen (aus 1080/81 in Valencia, heute an der Universität Florenz) zeigt 1015 Sterne.

Ghiyath al-Din Jamshid ibn Mas'ud al-Kashi, auch al-Kashani (+1429)

1424 ist er in Sarmakand und nimmt führend an der Planung des dortigen, von *Ulug Beg*²¹⁵ finanzierten Observatoriums und seiner Ausstattung teil²¹⁶; aus einem sehr interessanten und eingehenden Brief *al-Kashis* an seinen Vater aus dieser Zeit sind wir über das reiche wissenschaftliche Leben in Sarmakand unterrichtet – am Observatorium sollen damals 60 Wissenschaftler gearbeitet haben. In Sarmakand hat *al-Kashi* eine führende Stellung eingenommen, seine wichtigsten Arbeiten verfasst und auch an den nach *Ulug Beg* benannten Tafeln mitgearbeitet, deren Einleitung er möglicherweise verfasst, jedenfalls aber aus dem Persischen in das Arabische übersetzt hat – auf Grund seiner Leistungen ist er später im muslimischen Raum als „zweiter Ptolemaios“ gerühmt worden ist. *Ulug Beg* tolerierte *al-Kashis* unkonventionelles Verhalten, das alle Etikette außer Acht ließ. *al-Kashi* verfügte über eine Sinustafel mit 1 Grad-Schritten und von unglaublicher Genauigkeit – diese Tafeln sind in Übersetzung auch *Newton* zugänglich gewesen. Er löste kubische Gleichungen und rechnete Sexagesimalbrüche in **Dezimalbrüche** um. Von ihm kennen wir den Wert von π mit 3,1415926535897932 (das sind 16 Dezimalstellen!), der alle zuvor gegebenen Werte weit übertraf und seinerseits erst von *Ludolf van Ceulen* um 1600 (35 Stellen) überboten worden ist. *al-Kashi* bekannteste Werke sind

- *Miftah al-hisab*, eine umfangreiche Enzyklopädie der Elementarmathematik für Studierende, die auch auf die Bedürfnisse der Astronomen, Architekten, Beamten, Kaufleute etc. eingeht. In seiner Vielfalt und exzellenten didaktischen Komposition ist es als eines der besten Werke seiner Art in der gesamten mittelalterlichen Literatur einzustufen. Es ist in unzähligen Abschriften über Jahrhunderte hinaus verwendet worden. Das Werk ist in fünf Bücher gegliedert und gibt eine enorme Fülle von interessanten Aufgaben und Lösungsmethoden bis hin zu dem heute als Ruffini-Horner-Methode bekannten Ansatz aus der Hindu-Mathematik. Vielen seiner Lösungsmethoden konnte in Bezug auf die Subtilität im Westen erst im 16. Jh Ähnliches zur Seite gestellt werden.

²¹⁵*Ulug Beg* (1394-1449) war ein Enkel Timurs und selbst Astronom. Ist nicht zu verwechseln mit dem Ilchan *Ulug* im 13. Jh, der das Observatorium in Maragha bei Täbris finanzierte.

²¹⁶Der große in Marmor gearbeitete Sextant – Kreisbogen über 60° bei einem Radius von 40 m! – ist noch vorhanden.

- Khaqani Zij, eine Verbesserung der Ilkhanischen Tafeln des al-Tusi, enthält u.a. Sinus- und Tangenstafeln in Minutenabständen, einen Sternenkatalog für 1018 Fixsterne und die geographischen Koordinaten von 516 Orten.
- Risala dar sharh-i alat-i rasad, Erläuterung astronomischer Beobachtungsinstrumente, beschreibt die acht wichtigsten Instrumente: Triquetrum, Armillarsphäre, Äquinoktialring, doppelter Ring, Sextant, ein Instrument zur Bestimmung des Azimuth und der Höhe, eines für die Bestimmung des Sinus und eine kleine Armillarsphäre.

5.1.3 Teilbereiche der Physik

5.1.3.1 Mechanik

Es ist unklar, ob die Arbeiten des Archimedes zum Bereich der Mechanik und der Statik in das Arabische übersetzt worden sind. Andererseits gab es im Späthellenismus im Umfeld von Alexandria eine Fülle von anonymen Traktaten zu derartigen Themen, die in das Arabische (und dann z.T. auch in das Lateinische) übersetzt worden sind – und es gab wohl auch eine direkte Kontinuität in der praktischen Ausübung dieser Bereiche über die Eroberung Alexandrias hinaus –, so dass man von einer Tradierung der Erkenntnisse im Bereich der Mechanik in einer Zusammenführung von Ausführungen bei *Aristoteles*, *Euklid*, *Archimedes*, *Vitruv*, *Heron von Alexandria* und anderen (in dem einen oder anderen Autor unterschobenen Schriften) ausgehen kann. Die muslimischen Nachfolger haben dabei mehr als auf die Theorie Wert auf praktische Anwendung, auf die Konstruktion von mechanischen Geräten, gelegt. Viele der in der Mathematik und in der Astronomie wichtigen Autoren haben daran Anteil genommen²¹⁷. Der bedeutendste Autor neben bereits anderweitig genannten (unter denen in den Anfängen *Thabit ibn-Qurra*, dann *al-Biruni*²¹⁸ und in späterer Zeit al-Hayyam hervorzuheben sind) ist

Abu'l Fath 'Abd al-Rahman Al-Khazini (fl. 1115–1130)

Al-Khazini, der verschiedentlich mit *al-Haytham* verwechselt worden ist, war vermutlich ein Sklave byzantinischer Abstammung, der in Merv, der Hauptstadt der Seldschuken im heutigen Turkmenistan ausgebildet wurde und ein höchst asketisches Leben in Merv führte. *Al-Khazini* hat als Astronom – vermutlich unabhängig von einem Observatorium – um 1118 auf Grundlage eigener Beobachtungen einen Sternenkatalog erstellt (*al-Zij al mu'tabar al-sandjari al-sultani*, Astronomische Tafeln für

²¹⁷Einen Überblick gibt Mariam Rozhanskaya gemeinsam mit I.S. Levinova, Statics. In: EHAS II 614-642. Die Ausführungen zu *Al-Khazini* nach DSB.

²¹⁸*al-Biruni* eruierte in sehr beachtlicher Weise spezifische Gewichte – allerdings ließ er dabei die Frage der Temperatur außer Acht.

Sultan Sanja), und ein Werk über astronomische Instrumente (*Risala fi'l-alar*²¹⁹) veröffentlicht. Seine bedeutendsten Leistungen liegen aber im Bereich der Mechanik, für die er mit seinem

- Kitab Mizan al-Hikma – "Das Buch der ausgewogenen Weisheit", besser wohl „Das Buch über die [hydrostatische] Waage der Weisheit“ (englisch "Balance of Wisdom") eine um 1121/22 entstandene umfangreiche höchst einflussreiche und grundlegende Arbeit geschaffen hat, die im Wesentlichen der hydrostatischen Waage gilt (Abb P/C/Nachträge Khazini und DSB 7, 347 Scan). Al-Khazini ist stark von al-Biruni und al-Asfizari beeinflusst, welcher letzterer die erste verbesserte hydrostatische Waage nach Archimedes konstruierte, die als mizan al-hikma bezeichnet und für Sultan Sanjar zum Zwecke der Aufdeckung von Betrügereien mit Edelmetallen (in Analogie zu Hierons Krone) gebaut, bald aber mutwillig zerstört worden war. Al-Khazini baute eine neue Waage, die er als „kombinierte Waage“ bzw. als „Waage der Weisheit“ und gleichermaßen „Waage der korrekten Ermittlung“ bezeichnete. Auf eine längere philosophische Einleitung folgen die geometrischen und physikalischen Grundlagen der hydrostatischen Waage auf der Grundlage des Menelaos und des Archimedes, Erörterungen über einige Instrumente und Waagen im allgemeinen, die Herstellung und Handhabung der hydrostatischen Waage (wobei vieles aus älteren, auch verlorenen, Autoren übernommen wird) und schließlich Ausführungen über spezifische Modelle der Waage. Al-Khazini hat zahlreiche sehr präzise Messungen (bis in den Bereich von 50 Milligramm) zu spezifischen Gewichten von etwa 50 verschiedenen Substanzen durchgeführt (wobei er auch die Frage der Temperatur mit einbezogen hat)sich vor dem Hintergrund der zahlreichen Vorgänger, über die er referiert, durchaus als historische Persönlichkeit verstanden. Nach ihm ist auf diesem Gebiet bei den Muslimen nicht mehr gearbeitet worden.

Al-Khazini unterschied klar zwischen dem Gewicht eines Körpers und seiner „Schwere“, die je nach der Lage des Körpers in Verhältnis etwa zum Zentrum des Kosmos oder auch zum Angelpunkt eines Hebels schwanken könne – dem entsprechend wirkt ein und derselbe Gegenstand (immer gleichen Gewichts) an verschiedenen Positionen eines Hebelarms unterschiedlich stark. Dabei kommt z.B. bei *al-Haytham*, der Begriff „Kraft“ ins Spiel, die den Körper im Sinne des *Aristoteles* in das Zentrum des Kosmos bewegt und umso größer ist, je „dichter“ der Körper ist. Körper gleicher „Kraft“ haben die gleiche „Dichte“. Diesen Vorstellungen zufolge sollte die Schwere des Körpers im Zentrum des Kosmos gleich Null sein, daher ist der Abstand vom Zentrum von wesentlicher Bedeutung: Körper gleicher „Kraft“, Größe und Gestalt haben je nach ihrer Distanz vom Zentrum unterschiedliche „Schwere“. Wie andere muslimische Autoren auch gelangt *Al-Khazini* allerdings zur Auffassung, dass unterschiedlich schwere Körper unterschiedlich

²¹⁹Dieses Werk behandelt in sieben Kapiteln jeweils ein Instrument: das Triquetrum, den Diopter, ein Triangulierungsinstrument, den Quadranten (rechte Sextanten), ein Gerät, das Licht reflektiert, das Astrolabium und das Sehrohr.

schnell fallen. – *Al-Khazini* wird auch eine Erklärung zugeschrieben, auf welche Weise die Ozeane die gewölbte Erdoberfläche bedecken.

Al-Khazinis Vorstellungen waren teilweise neu: hinsichtlich der Schwere sind sie erst im 18. Jh als Konsequenz konkreterer Vorstellungen bezüglich der Gravitation wieder aufgenommen worden. Hinsichtlich der Hebel ist diese Problematik im Sinne des Moments einer Kraft als Konzept der *gravitas secundum situm* bei *Jordanus de Nemore* und anderen im lateinischen Mittelalter sehr früh aufgegriffen worden. Vermutlich sind die bei *Jordanus de Nemore* verwendeten Begriffe *pondus* und *gravitas* letztlich aus Übersetzungen aus dem Arabischen resultieren. Im Unterschied zu den Ausführungen bei Archimedes arbeiten die muslimischen Autoren nicht mit abstrakten, gewichts- und dimensionslosen Hebeln, sondern beziehen die Hebel als materielle Einheiten in die Überlegungen mit ein.

Besondere Aufmerksamkeit widmete man der bei *Archimedes* erstmals entwickelten Lehre von Schwerpunkt eines Körpers und weiters von Verbänden mehrerer Körper – z.B. unterschiedlich großer Kugeln am Boden einer halbkugelförmigen Schale.

Auch die hydrostatischen Probleme sind im Anschluß an *Archimedes* diskutiert worden. *Al-Khazini* hat die archimedische Auftriebslehre ausgeweitet auf Hohlkörper und damit theoretische Grundlagen für den Schiffsbau erörtert.

Hinsichtlich der Anwendung mechanischer Prinzipien stand man voll und ganz in der Nachfolge und unter dem Einfluss von *Heron von Alexandria*. U.a. entwickelte man sehr ausgeklügelte Waagensysteme, vor allem die „Waage der Weisheit“.

5.1.3.2 Optik

In diesem Bereich haben die Muslime im naturwissenschaftlichen Bereich neben der Astronomie wohl am meisten geleistet²²⁰. Sie folgten dabei ausschließlich den Errungenschaften, wie sie im Hellenismus erarbeitet worden waren – *Euklid*, *Heron von Alexandria* und *Ptolemaios* im Wesentlichen. Die ersten einigermaßen muslimischen Arbeiten entstanden jedoch nahezu zeitgleich mit den Übersetzungen.

Die frühen Auffassungen bezüglich des Sehrvorganges gehen *Euklid* und *Galen* entsprechend davon aus, dass ein Strahl aus dem Auge austritt, der das Objekt trifft, das damit „gesehen“ wird. Was dieser Strahl bzw. diese geradlinigen kegelförmig angeordneten Strahlen nicht treffen, wird nicht gesehen. Einer der frühesten Autoren in dieser Tradition ist

²²⁰Inwieweit dafür der Umstand mitverantwortlich war, dass es im Orient eine Fülle von Augenerkrankungen gab, die die Wissenschaft auch auf dem Umweg über die Ophthalmologie zur Optik geführt habe, mag dahingestellt bleiben. – Zur Sache s. Roshdi Rashe, Geometrical optics. In: EHAS II 643-671; Gül S. Russell, The emergence of physiological optics. In: EHAS 672-715, und David C. Lindberg, The Western reception of Arabic optics. In: EHAS 716-729, sowie in Bezug auf Personen DSB.

Qusta ibn Luqa al-Balabakki (820-912)

Ein aus Balbeek stammender Übersetzer²²¹, die selbst in Byzanz war und von dort Handschriften mitbrachte, die er in das Arabische übersetzte, u.a. auch medizinische Traktate. Von Ibn Luqa stammt eine Arbeit, die gewissermaßen die Grundlegung der arabischen Optik darstellt.

Abu Yusuf Yaqub ibn Ishaq ibn al-Sabbah al-Kindi (ca. 800-873)

Dieser bedeutende islamische Philosoph befasste sich in seinem Werk

- *De aspectibus* auf der Grundlage Euklids, Heron von Alexandria und des Ptolemaios sehr eingehend mit geometrischer und physiologischer Optik und beeinflusste damit Roger Bacon und Witelo. Auch er vertrat noch die Emissionstherapie, operierte aber mit Strahlenvolumina (nämlich dem vom Auge emittierten Kegel). Von al-Kindi stammt auch ein lange irrig einem anderen Autor zugewiesener Traktat, in dem er die Frage der Lichtbrechung (z.B. im Wasser) diskutiert; in anderen Arbeiten hat er sich mit Farben befasst und auch die Frage diskutiert, weshalb der Himmel blau sei: der Himmel sei nicht an sich blau, sondern wir empfinden ihn als blau als Ergebnis diverser Reflexionen von Teilchen in der Atmosphäre – von hier wäre es nahe liegend gewesen, die Emissionstheorie aufzugeben.

In der Folge haben sich andere Autoren auf geometrischer Grundlage eingehend mit der Theorie von Linsen zu befassen begonnen. *al-Razi* befasste sich unter dem Aspekt der Veränderung der Pupille mit dem Sehen und konstatierte, dass die Pupille den Zugang von Licht zum Auge kontrolliere, da zuviel Licht – wie etwa das der Sonne – Schmerzen verursache. Damit wurde die Auffassung, dass das Auge ein wahrnehmendes, empfangendes Organ sei, verstärkt. *Avicenna* ging der Frage des Sehens unter geometrischen Aspekten nach und folgerte, dass das Kegel-Modell nur sinnvoll erscheine, wenn es vom Objekt aus auf das Auge zugehe. Zu einer insgesamt schlüssigen Auffassung gelangte er aber dennoch nicht, zumal er die Reflektion von Licht ablehnte – sie müsse sich an allen festen Körpern vollziehen und nicht nur an solchen mit besonders glatter Oberfläche. Einen grundlegenden Durchbruch mit der Zusammenführung optisch-geometrischer und anatomischer Aspekte brachte dann

Abu Ali Al-Hasan ibn Al-Hasan Ibn Al-Haytham, lat. Alhazen (965-1040)

al-Haytham kam im Zusammenhang mit der Frage der Nilregulierung als bereits berühmter Mathematiker zu al-Hakim nach Kairo, musste zwar in Assuan die Unmöglichkeit einer Regulierung einsehen, nahm aber in der Folge dennoch zeitweise eine hohe Stellung beim Kalifen ein. Er arbeitete zu

²²¹ Er läuft auch unter dem Namen Costa ben Luca bzw. Constabulus.

Logik, Ethik, Politik, Poesie, Musik und Theologie. Seine hervorragende Bedeutung beruht jedoch auf seinen naturwissenschaftlichen Arbeiten, zur Astronomie (s.w.o.) und insbesondere zur Optik – er ist einer der bedeutendsten muslimischen Naturwissenschaftler überhaupt. Sein wohl bedeutendstes Werk ist

- Kitab al-Manazir, Buch der Optik, in lateinischer Fassung als "Opticae thesaurus. Alhazeni Arabis libri VII" ab 1250 vorliegend; es ist dies eine hervorragende Arbeit, die ausschließlich auf Induktion, Experiment und mathematischer Schlussfolgerung beruht; dementsprechend gibt es keine philosophischen Erörterungen zur Thematik, sondern ausschließlich wissenschaftlich-empirische Untersuchung. Das Werk wird zur Grundlage für Witelo und ist überhaupt die Ausgangsbasis für die Optik in Europa in der frühen Neuzeit bis auf Kepler und Descartes. al-Haytham experimentierte mit Hilfe eines verdunkelten Raumes mit einer winzigen dem Licht zugewandten Öffnung (gleich einer camera obscura), in dem ihm Staub und auch Raum den Strahlengang des Lichtes als geradlinig und nur innerhalb dieser Geradlinigkeit beeinflussbar sichtbar machte – und das unter allen Umständen, unter denen er seine systematisch ausgeweiteten Experimente wiederholte. Lichtquellen erkannte er als radial ausstrahlend, ebenso konnte er erweisen, dass jeder Punkt der Oberfläche eines Körpers Licht aussende

al-Haythams Vorstellungen vom Licht und vom Sehen – beides trennte er von einander – sind weitestgehend originär, am ehesten ist ein Einfluss des *Ptolemaios* vorhanden, dessen Optik ihm aber nur unvollständig an arabischer Übersetzung zugänglich war. Licht ist ihm eine Eigenschaft entweder selbstleuchtender Körper (primär) oder (sekundär) von Körpern, die ihr Leuchten von außen liegenden Quellen ableiten. Ein Sonderfall ist ihm Transparenz. Die Intensität des Lichtes nimmt mit der Entfernung vom leuchtenden Körper ab. Farbe ist ihm eine Strahlungseigenschaft der Körper, die vom Licht unterschieden wird; da aber Farbe ohne Licht nicht wahrnehmbar ist, gelten für Farbe dieselben Regeln wie für Licht. Er führt auch das Konzept des Lichtstrahls ein.

al-Haytham hat sich eingehend und erfolgreich mit dem Sehen beschäftigt und dazu – nicht unwesentlich auf der Grundlage *Galens* – die erste wirklich brauchbare *anatomische Beschreibung* der Hauptteile des Augapfels (ausgehend von den Sehnerven) gegeben, die durch ihn benannt sind – die heute noch üblichen lateinischen Begriffe stammen aus der Übersetzung seiner Arbeit²²². Er kennt drei Augenflüssigkeiten: das Kammerwasser, die Kristallflüssigkeit (das ist die Linse), und den Glaskörper; geometrisch sieht er das Auge als aus zwei Kugeln bestehend (**ABB Russell 692**); er operiert mit der optischen Achse, die durch das Zentrum der Pupille, hierauf durch das Zentrum des Glaskörpers in das Zentrum des Sehnervs läuft, und vertritt die Theorie der Intromission). Die eigentliche Bedeutung der Netzhaut konnte er

²²²Noch vor *al-Haytham* hat sich *Hunain ibn Ishaq* im 9. Jh nChr in seinem „*Buch der zehn Traktate über das Auge*“ mit der Anatomie desselben befasst.

natürlich nicht erkennen; das Bild entsteht streng geometrisch gedacht auf Grund der von den einzelnen Punkten des Objekts lotrecht auf die Hornhaut treffenden Strahlen innerhalb der Linse (jeder Punkt des Körpers sendet kegelförmig Licht- (und Farben-)Strahlen aus, ein Teil des Kegels trifft die Hornhaut, ein Strahl darin trifft lotrecht auf die Hornhaut auf, die anderen unter verschiedenen Winkeln. Das in der Linse entstehende Bild (das nicht mit dem in einer Camera obscura verglichen wird²²³!) wird Punkt für Punkt durch den Glaskörper und dann durch den Sehnerv ins Gehirn geleitet, wo die Bilder der beiden Augen zur Deckung gebracht werden. Er erkennt auch, dass die im Auge entstehenden Bilder „auf dem Kopf“ stehen und dass die unterschiedlichen Bilder der beiden Augen im Gehirn (auf ihm natürlich nicht erfassbare Weise) zusammengeführt werden. Nichts geht vom Auge aus – diese Annahme sei sinnlos und überflüssig, es wäre absurd anzunehmen, dass irgendwelche Emanationen des Auges den Himmel und die Welt erfüllten, sobald wir die Lider öffnen.

al-Haytham hat als erster, praktisch vollständig, acht Gesetze der Lichtbrechung formuliert und mit Experimenten belegt, wobei er streng geometrisch und stets unter Berücksichtigung des Standpunktes des beobachtenden Auges vorgeht (Buch 7 der Optik). Leitende Annahme ist, dass sich das Licht in dichteren Körpern langsamer ausbreitet als in weniger dichten. Er geht in all dem weit über *Ptolemaios* und andere antike Vorbilder hinaus.

Neben seiner Optik hat *al-Haytham* eine Fülle weiterer Schriften verfasst – über den Mond, den er als Spiegel interpretiert, über Brennspiegel, über die Gestalt einer Finsternis, über die Camera obscura u.a.m. Von all diesen Arbeiten sind nur die Optik und eine Arbeit über parabolische Brennspiegel ins Lateinische übersetzt worden. Im muslimischen Raum ist die Optik praktisch nicht wahrgenommen worden; erst zu Ende des 13. Jhs setzt sich der Perser *al-Farisi* mit dieser Arbeit auseinander – mittlerweile war das Werk im Westen bereits rezipiert und in seiner grundlegenden Bedeutung erkannt, nicht nur durch *Witelo*, sondern auch durch *Roger Bacon* und andere, die ihn laufend zitieren. Bereits im 14. Jh wird eine Übersetzung in das Italienische durchgeführt.

al-Haytham hat auch 20 Werke zur Astronomie verfasst, in diesem Bereich aber nicht jene Bedeutung erlangt, die ihm in der Optik zukommt. Er setzt sich kritisch mit spezifischen Fragen (vor allem bezüglich der Mondbahn und der Planetentheorie bei *Ptolemaios*) auseinander, die z.T. später durch *al-Tusi* aufgegriffen worden sind.

Als Mathematiker ist *al-Haytham* durch das nach ihm benannte Problem hervorgetreten: von zwei beliebigen Punkten vor einer reflektierenden Oberfläche könne ein Punkt auf dieser gefunden werden, durch den das Licht des einen Punktes auf den anderen reflektiert werde; diese Frage hatte auch schon *Ptolemaios* beschäftigt – ein Problem, mit dem man sich auch im 20. Jh intensiv befasst hat; es ist auch als „Alhazens Billard-Problem“ bekannt und nur mit Hilfe kubischer Gleichungen lösbar. Auch

223Obgleich *al-Haytham* die Camera obscura beschreibt, beschreibt er keine Experimente mit dieser.

er befasste sich mit dem Parallelenpostulat, der Quadratur des Kreises, den Mündchen des *Hippokrates von Chios* u.a.m.

al-Haytham hat möglicherweise als erster auf die vergrößernde Wirkung gläserner Kugelsegmente hingewiesen – hat es aber interessanterweise offensichtlich selbst nicht ausprobiert! Erst *Witelo* ließ auf dieser Grundlage einen „Lesestein“ herstellen, der die Vorstufe zur Brille darstellte (man hat allerdings schon im Altertum Edelsteine für Vergrößerungszwecke verwendet, so Nero den Beryll, von dem das Wort Brille abgeleitet wird²²⁴).

Aus dem Umstand, dass die Dämmerung nur so lange dauert, als die Sonne nicht mehr als 19 Grad unter den Horizont steht, hat *al-Haytham* die Höhe der Erdatmosphäre zu berechnen versucht und gelangte dabei auf etwa 10 km, wobei er allerdings offenbar die astronomische Refraktion, obgleich seit *Ptolemaios* bekannt, nicht berücksichtigt hat.

Kamal al-Din Abul Hassan Muhammad al-Farisi (1260–1320)

al-Farisi war ein Schüler des *Qutb al-Shirazi* und damit ein Enkelschüler des *al-Tusi*; er verfasste neben mathematischen Arbeiten und einer solchen zur Zahlentheorie (verwandte Zahlen) einen Kommentar zur Optik des *al-Haytham*, die er unter Anleitung seines Lehrers *Qutb al-Shirazi* studiert hatte, mit dem Titel – *Tanqih al-manazir* = Korrektur der Optik (Texte des *al-Haytham* leitet er mit arabisch "dixit" ein, seine eigenen Feststellungen mit "dico"), das Werk stellte eine Überarbeitung bzw. Neubearbeitung der Optik auf Grundlage der Arbeit des *al-Haytham* dar, wobei etliche Vorstellungen wesentlich verbessert werden. Der beeindruckendste Teil der Arbeit ist jener zur Theorie des Regenbogens, die *Qutb al-Shirazi* als Problem aufgegriffen und mit der sich *al-Haytham* mit nur mäßigem Erfolg befasst hatte. *al-Farisi* erklärt den Regenbogen durch zumindest zweifache Reflexion innerhalb des Tropfens und entsprechende zweifache Refraktion (bei Eintritt und Austritt aus dem Tropfen) – dies war mit Hilfe einer wassergefüllten Glaskugel experimentell nachweisbar und ist die erste mathematisch befriedigende Erklärung des Phänomens. Die farblichen Erscheinungen suchte er mit der Überlagerung verschiedener Bilder zu erklären (zuvor war Farbe als eine Mischung von hell und dunkel erklärt worden). Diese Theorie ist früher verschiedentlich *Qutb al-Shirazi* zugeschrieben worden, was heute nicht mehr vertreten wird. Vielleicht zehn Jahre später hat *Dietrich von Freiberg* dieselbe Erklärung gegeben – wohl unabhängig von *al-Farisi*.

al-Farisi hat die Korrektur der sphärischen Aberration durch hyperboloide Linsen vorgeschlagen, die Lichtgeschwindigkeit als endlich, aber ungeheuer groß angenommen, sie sei außerdem in einzelnen Medien proportional zur Dichte des Mediums (die aber nicht mit der spezifischen Dichte gleichgesetzt wird!). Bezüglich der *Camera obscura* stellt er fest, dass das Bild unabhängig ist von der Form des

224Die Ableitung von frz. brillier = glänzen wäre erheblich später.

Loches, dass das Bild aber umso schärfer ist, je kleiner das Loch ist. Er hat mit Hilfe der Camera obscura Finsternisse beobachtet, aber auch Wolken und Bewegungen von Vögeln, wobei er natürlich notierte, dass sie seitenverkehrt abgebildet wurden. Ähnliche Untersuchungen hat übrigens auch Levi ben Gerson gemacht.

5.1.3.3 „Technik“

Die Muslime haben die in Ägypten hinsichtlich der Bewässerungstechnik hochentwickelten Kenntnisse ebenso übernommen wie die mechanisch-technischen Fertigkeiten im Instrumenten- und Gerätebau, wie er vor allem in Alexandria von Ktesiphon bis *Heron von Alexandria* entwickelt worden ist. Kanal- und Bewässerungsbau, Schöpfwerke, Brückenbau waren so selbstverständlich wie ausgedehnte Hochbauten – Bagdad war zur Abbasidenzeit eine Großstadt mit angeblich etwa eineinhalb Millionen Einwohnern, allein die Versorgung ihrer Einwohner setzte eine enorme technische Leistungsfähigkeit voraus. Hinter diesen Aktivitäten stand natürlich die entsprechenden ingenieurstechnischen Fertigkeiten in Vermessung und Konstruktion²²⁵.

Eine der besten Quellen für die Spitzenleistungen sind die Arbeiten von

Badi al-Zaman Abul-Izz Ismail ibn al-Razzaz al-Jazari (1180-1210?)

aus Diabakir arbeitete. Er war vielleicht weniger Erfinder als vielmehr Kenntnisse aus verschiedenen Bereichen zusammenführender Ingenieur. In seinen Arbeiten beschreibt er eine Fülle von Geräten, mitunter mit ganzseitigen umfassenden Skizzen. Er baute *Klepsydr*en für gleiche und ungleichlange Stunden, wie eine solche bereits Harun *al-Raschid* an Karl den Großen gesandt hatte und wie sie mehrfach für Toledo, Damaskus und anderwärts überliefert sind²²⁶, automatische Brunnen in Teichen, die ihre Gestalt wechselten und mit automatischen Flöten ausgestattet waren etc.; auch automatische Mehrfachschlösser mit Buchstabencode und Vermessungsgeräte. Von ihm stammen aber auch ausgefeilte wind- und wasserkraftbetrieben Bewässerungsmechanismen mit ventilgesteuerten Kolben; für solche Anlagen wie für Mühlen wurden sowohl vertikale als auch horizontale Wasserräder als Antrieb verwendet, wie es auch Schiffsmühlen gab. Bereits die *Banu Musa* Brüder konstruierten konische schwimmerbetätigte Ventile.

5.1.4 Musiktheorie

²²⁵Einen Überblick gibt Donald R. Hill, Engineering. In: EHAS III 751-795.

²²⁶Wie sie ja auch im Abendland, z.B. in Florenz bis in das 18. Jh verwendet worden sind – 12 Stunden auf die Zeit zwischen Sonnenauf- und -untergang.

Die Araber haben Fragen der physikalischen Akustik im Zusammenhang mit ästhetischen, musikalisch-künstlerischen Problemen behandelt und dadurch wichtige neue Kenntnisse im Bereich der Musiktheorie gewonnen²²⁷. Sie waren dabei beeinflusst von Byzanz, von sassanidischen Elementen im Iran und süd-arabischen Traditionen, vor allem aber von der griechischen Musiktheorie, d.h. von den Pythagoräern und von Eratosthenes. Der bedeutendste Musiktheoretiker des Mittelalters war wohl der wichtige arabische Philosoph *al-Farabi*, der u.a. auch eine „große Abhandlung über die Musik“ – *Kitab al-musiqa al-kabir* – verfasste. Das Werk geht von der physikalischen Theorie des Tons (unter kritischer Heranziehung des *Aristoteles*) aus und erläutert in der Folge die damals bekannten Systeme bis hin zu einer sehr abstrakten Theorie des Rhythmus. Der zweite Teil ist der musikalischen Praxis gewidmet.

5.1.5 Chemie – Alchemie

Dies ist ein wichtiger Bereich, in dem die Araber resp. die Muslime unter Einbringung der praktischen Kenntnisse der Ägypter und Mesopotamiens wie der eher theoretisch-spekulativen Momente der Griechen Wesentliches geleistet haben, wobei allerdings manches im Detail unklar ist²²⁸. Möglicherweise sind auch chinesische Kenntnisse eingeflossen²²⁹.

Im Verlaufe der Jahrhunderte hatte sich in den einzelnen Ländern aus der Gewinnung und der Verarbeitung von Metallen heraus, aus dem Färbereiwesen, der Gerberei und der Herstellung von Duftstoffen (Parfüms) eine Fülle von praktisch-chemischen Kenntnissen angesammelt²³⁰. Dabei sind manche Prozesse falsch interpretiert und zum Anlass für irrige Zielsetzungen genommen worden. Wenn man Rohblei schmilzt, gewinnt man in der Regel auch etwas Silber, das auf dem Geschmolzenen oben auf schwimmt. Dies ist als Verwandlung von Blei in Silber interpretiert worden, und man bemühte sich, diese „Verwandlung“ effizienter zu gestalten, indem man katalysierende Stoffe suchte – den Stein der Weisen, von dem man sich auch die Heilung aller Krankheiten etc. erwartete. Mit solchen Stoffen hoffte man auch, die Oberflächen minderwertiger Materialien so zu bearbeiten können, dass sie den Anschein von Edelmetallen gewannen. Eine wichtige Rolle spielten dabei Arsen und Quecksilber – zwei starke Gifte.

Wie man sich vom Stein der Weisen Heilung erwartete, so erhoffte man durch das "*al iksir*" = Elixier das ewige Leben.

227S. dazu Jean-Claude Chabrier, *Musical science*. In: EHAS II 581-613.

228S. dazu auch Georges C. Anawati, *Arabic alchemy*. In: EHAS III 853-885, und Robert Halleux, *The reception of Arabic alchemy in the West*. In: EHAS III 887-902.

229Die Chinesen zerlegten Zinnober in Schwefel und Quecksilber, die Jing und Jang in der Alchemie sind und um die es überhaupt eine Fülle von Theorien in der frühen Chemie resp. Alchemie gab, bis hin zu *Paracelsus* und zur Phlogistontheorie, aber auch bei *Jabir Ibn Hayyan*, s.w.u.

230Destillieren ist bekannt und wird routinemäßig verwendet.

Es ist einsichtig, dass sich die Chemie-Alchemie – sie sind in der Frühzeit nicht von einander zu trennen – in rationaler Hinsicht sehr oft in Grauzonen bewegt hat. Die angedeuteten Prozesse sind schon im 3. Jh vChr erkennbar. Als zusätzliche Schwierigkeit kommt die Koppelung mit der Astrologie hinzu. So bestimmt durch lange Zeit ein Komplex von alchemistischen Schriften aus dem Späthellenismus, aus dem ägyptisch-griechisch-byzantinischen Bereich, die in weiterer Folge Personen wie *Pythagoras*, *Sokrates*, *Platon*, *Aristoteles*, *Galen* (im Sinne der späteren *turba philosophorum*²³¹) und anderen bis hin zu Kleopatra, aber auch fiktiven Persönlichkeiten wie Hermes Trismegistos zugeschrieben wurden oder aber auch alchemistische Interpretationen tatsächlich existierender Arbeiten waren, das Bild. In diese Welt sind dann arabische Autoren eingetreten, wobei die Parallele zwischen rationalen Bemühen um die Erfassung natürlicher Vorgänge und die klassisch alchemistisch-spekulativen Arbeiten, wie sie dann ja auch noch im lateinischen Europa übernommen werden sollte, aufrecht erhalten wurde und weitergepflegt wurde.

Chemische Einzelkenntnisse werden uns u.a. in dem um 975 von

Abu Mansur Muwaffak ibn Ali al-Harawi (10. Jh)

in Herat (Iran) im 10. Jh, verfassten

– Buch der Grundlagen über die wahre Beschaffenheit der Heilmittel (auch Buch der pharmakologischen Grundsätze) mitgeteilt, wo eine Fülle von Medikamenten beschrieben wird, weiters die Anleitung gegeben wird, aus Meerwasser durch Destillieren Trinkwasser oder aus Gips einen Verband herzustellen – was sich erst im 19. Jh durchgesetzt hat. Arsenikverbindungen und Quecksilbersalbe werden als heilkräftig empfohlen. Die in der Österreichischen Nationalbibliothek erhaltene Handschrift dieser Arbeit ist die älteste in persischer Sprache erhaltene Handschrift.

Um 900 haben die Araber entdeckt, dass sich durch Destillieren von Wein der berauschende Anteil extrahieren lässt, den sie "al-kuhl"²³² nannten und unter die Heilmittel aufnahmen.

Die lange Zeit zentrale Figur, deren Person und Werk nach wie vor ein großes Problem sind, ist

Abu Musa Jabir Ibn Hayyan (ca. 721 – ca. 815)

²³¹Unter der Bezeichnung „Versammlung der Philosophen“ wurde ein Komplex von angeblichen Schriften vorsokratischer Philosophen alchemistischen Inhalts überliefert, der als „Turba philosophorum“ im lateinischen Westen weit verbreitet wurde.

²³²Daraus entstand die Verballhornung „al-kohol“. Als „al-kuhl“ wurde ursprünglich ein feines (Antimon-)Pulver bezeichnet (möglicherweise für die Augenschminke), im Zuge der Rezipierung in Europa wurde daraus verfälschend ein „Extrakt“.

Die angegebenen Lebensdaten *Jabir Ibn Hayyans*²³³ beruhen auf der Gültigkeit der Annahme, dass es sich bei ihm um den Sohn eines Apothekers arabischer Abstammung in Kufa (Persien) handle, der in Chorasán hingerichtet wurde. Unter dem von Mythos umgebenen Namen *Jabir Ibn Hayyan* liefen mehrere Hunderte von Traktaten, was die Forschung weite Irrwege gehen ließ, und es entstand über die Jahrhunderte eine enorm umfängliche Literatur zu seiner Person und seinem Werk. Die aus dem Mittelalter überlieferten lateinischen Werke – insbesondere die „Summa perfectionis magisterii“²³⁴, der „Liber de investigatione perfectionis“ etc. – sind allesamt nachträglich zugeschriebene, ja untergeschobene Werke mittelalterlicher Alchemisten, die heute einer historisch letztlich fiktiven als *Geber Latinus* bezeichneten Person bzw. einer Personengruppe als *Geber-Latinus-Corpus* zugewiesen werden. Es ist auch nicht sicher, ob alle unter seinem Namen laufenden arabischen Texte wirklich von *Jabir Ibn Hayyan* stammen. Der Großteil der ihm zuzurechnenden Werke ist immer noch nicht ediert. Zu nennen sind vor allem:

- Das Buch der 70 (Abhandlungen), diese Abhandlungen, die zumeist eher Kommentare zu älteren zumeist griechischen Autoren sind, die Großteils in das Lateinische übersetzt wurden, darunter das „Buch der Venus“ (Harun al-Raschid gewidmet) und das „Buch der Steine“, dürften vor 810 entstanden sein und am ehesten einem historischen *Jabir Ibn Hayyan* zuzuweisen sein;

Weniger gesichert ist die Autorschaft eines historischen *Jabir Ibn Hayyan* im Falle der nachfolgend genannten Werke:

- Das Buch der 112 (Abhandlungen), die auch ältere, vor allem griechische alchemistische Schriften enthalten, die die Grundlage für die „hermetische Alchemie“ bilden und in lateinischer Übersetzung als „Tabula Smaragdina“ in Europa unter Alchemisten weit verbreitet waren
- Die zehn Bücher der Richtigstellung, die auch Darstellungen älterer „Alchemisten“ enthalten wie Pythagoras, Sokrates, Platon und Aristoteles
- Das Buch des Gleichgewichts, das die gleichnamige, allem zugrunde liegende Theorie *Jabir Ibn Hayyans* enthält.

Jabir Ibn Hayyan bemüht sich – neben seinen wesentlich religiös und aus überkommener Tradition bestimmten alchemistischen Schriften – auf der Grundlage von Theorien, die aus des *Aristoteles* Physik abgeleitet werden, und von griechischen alchemistischen Schriften um systematisches Experiment und um die Loslösung der Chemie von den religiös-mystischen Elementen hin zu Wissenschaftlichkeit – „*das Wichtigste in der Chemie ist, daß Du praktische Arbeit ausführst und Experimente, denn niemand, der das nicht tut, wird zur Meisterschaft gelangen*“. Er hat offensichtlich zahlreiche heute selbstverständliche

²³³Es wird in weiterer Folge zwischen *Ibn Hayyan* als *Jabir* und dem historisch nicht fassbaren *Geber Latinus* des vermutlich 13./14. Jhs unterschieden. Bezüglich beider Personen bestehen Zweifel hinsichtlich ihrer Identität bzw. sogar Historizität.

²³⁴Zur „Summa perfectionis magisterii“ s.w.u.

chemische Basisprozesse und Laboreinrichtungen entwickelt sowie zahlreiche chemische Substanzen beschrieben – er gewann Hydrochloride²³⁵, wandte Kristallisation und Destillation an, wozu er den Destillierkolben entwickelte, der das Verfahren sicherer machte. Er experimentierte mit Schwefel, mit Salpeter und anderen Stoffen.

Die *Jabir Ibn Hayyan* zugeschriebenen Werke („Jabir-Corpus“) sind Zeugnis der Rezeption und Zusammenführung verschiedener Teile der griechischen Naturphilosophie im islamisch-arabischen Kulturraum. Dabei dürfte sich der Autor, neben den zahlreichen alchemistischen Pseudoschriften der Spätantike vor allem auf *Aristoteles*, *Galen* sowie *Zosimus aus Panopolis* gestützt haben. Im Jabir-Corpus vollzieht sich eine Verschmelzung der aristotelischen Elementlehre mit der Humoralpathologie, das Ergebnis dieser Verschmelzung wird konsequent zu einer Materietheorie ausgebaut, die, anders als bei den Griechen, auch organische Stoffe in die alchemistische Abhandlung einbezieht und für viele Jahrhunderte die Grundlage in der theoretischen wie praktischen Behandlung von Fragen zum Aufbau der Materie bilden sollte. Hierher gehört auch der Versuch, die Stoffe, vor allem die Mineralien zu klassifizieren. Die Metalle hielt *Jabir Ibn Hayyan* für unterschiedliche Verbindungen zwischen Quecksilber und Schwefel, und er glaubte, sie durch Veränderung des Gemengeverhältnisses ineinander überführen zu können. Dabei entwickelte er Vorstellungen, die als Ursprung unserer Unterscheidung in Metalle und Nichtmetalle angesehen werden können.

Jabir Ibn Hayyan hat in alchemistischem Zusammenhang den Elementen bei *Aristoteles* die Grundeigenschaften Wärme, Kälte, Trockenheit und Feuchtigkeit zugeordnet²³⁶, deren unterschiedliche Kombinierung ebenfalls den Transmutationsprozess fördern sollte. Auf derartigen Auffassungen baut aber auch das Prinzip auf, das *Jabir Ibn Hayyan* in allem verfolgte, nämlich das des Gleichgewichts. Er strebte nach einer kompletten Liste aller natürlichen Substanzen unter Anführung ihrer grundlegenden Qualitäten und ihren spezifischen Eigenschaften, die experimentell festgestellt und zahlenmäßig ausgewiesen werden sollten. Darüber hinaus spricht er das Gleichgewicht der $28 = 7 \times 4$ Buchstaben des arabischen Alphabets an, wobei die 4 auf die vier Qualitäten warm, kalt, feucht und trocken und ihre neuplatonische Überhöhung im Sinne von Intellekt, Weltseele, Materie und Zeit sich bezieht, was wiederum in Beziehung gesetzt wird zu aus dem Koran gewonnenen Zahlenvorstellungen hinsichtlich des Jüngsten Gerichts etc. Damit bringt er die Vorstellung in Zusammenhang, dass der Mensch naturgeschaffene Objekte künstlich herstellen könne, gewissermaßen als ein zweiter Schöpfer (*Jabir Ibn Hayyan*) verfasste auch ein „Buch über die Transformierung des Potentiellen in ein Aktuelles“ – was eine gewisse Analogie zur Stoa erkennen lässt. Diese Auffassungen werden bei ihm aber quasi-naturgesetzlich bzw. nach mathematischen Vorstellungen gehandhabt – so fasst er 28 als eine perfekte

235 Salze meist organischer Basis mit Chlorwasserstoffsäure

236 Feuer = heiß und trocken; Erde = kalt und trocken; Wasser = kalt und feucht; Luft = heiß und feucht.

Zahl auf: 1-3-6-10-15-21-28, als die siebente Zahl in einer Reihe und identisch mit der Summe ihrer Teiler (1+2+4+7+14).

Insgesamt erweitert *Jabir Ibn Hayyan* die spezielle Idee der Transmutation unedler Metalle in Silber und Gold zur prinzipiellen Idee der künstlichen Herstellung von edlen Stoffen aus minderwertigen Ausgangsstoffen durch den Alchemisten. Dabei „arbeitet“ *Jabir Ibn Hayyan* ausschließlich mit Elixieren²³⁷; der Stein der Weisen fehlt bei ihm.

Jabir Ibn Hayyan bezieht sich zwar einleitend auf die Bedeutung der Praxis: „das Wichtigste in der Chemie ist, daß Du praktische Arbeit ausführst und Experimente, denn niemand, der das nicht tut, wird zur Meisterschaft gelangen“, letztlich bleibt aber die Bedeutung des Experiments bei *Jabir Ibn Hayyan* – sowohl aufgrund des Stellenwerts innerhalb des Corpus, als auch auf Grund der prinzipiellen Qualität – weit hinter jener im „Buch der Geheimnisse“ des *al-Razi* zurück.

Die Schriften des älteren, arabischen *Jabir*-Corpus sind scharf von den weitaus jüngeren Schriften der Schriften des *Geber*-Latinus-Corpus zu unterscheiden. Besonders in Überblickswerken kommt es hier immer wieder zu Vermischung von Inhalten der beiden Corpora. Technische Informationen zur Herstellung von Mineralsäuren oder von Königswasser – beides war zur Zeit des *Jabir Ibn Hayyan* noch unbekannt – zur Gerberei, zum Ätzen von Gold, zum Färben, zur Stahlherstellung etc. gehören dem jüngeren lateinischen Corpus an.

Jabir Ibn Hayyan handelt nicht nur von Chemie, sondern auch von medizinischen, mathematischen, astrologischen, magischen und musikalischen Themen, und war so auch ein Autor im Bereich der Alchemie, und das wesentlich auf religiöser Grundlage – das „Buch der Steine“ enthält lange Anweisungen für spezielle Gebete, die in der Wüste zu vollziehen sind, ehe man an ein alchemistisches Experiment herangehen dürfe – Alchemie ist die Schwester der Prophetie. *Jabir Ibn Hayyan* beruft sich auf eine alte, von ihm dargestellte Tradition der Alchemie – Hermes Trismegistus²³⁸ etc. –, die es dem Menschen ermögliche, die natürlichen Prozesse nachzuahmen. Seine in diesem Zusammenhang bewiesene Kenntnis des Griechischen und Vertrautheit mit den griechischen Autoren ist erstaunlich und weist auf die Sekte der Sabianer in Harran.

Hinsichtlich sowohl der Person *Jabir Ibn Hayyan*s als auch seiner Arbeiten sind noch viele Fragen offen.

²³⁷Elixier stammt wahrscheinlich von griech. „xerion“ ab, das ein sehr feines „Streu“pulver bezeichnet. Im Endeffekt folgt es also der selben Idee wie jener des Steins der Weisen, nämlich der Idee, einer unedlen Substanz eine sehr feine und daher edle Substanz zuzusetzen, die die „Kraft“ besitzt, die unedle Substanz zu veredeln. Auch das Wort Alkohol entsteht aus ähnlichen Vorstellungen (vgl. w.u.).

²³⁸Eine Verschmelzung des griechischen Hermes mit dem ägyptischen Toth, eine Gestalt, die als Autor der unter dem Begriff Corpus hermeticum zusammengefassten, zumeist wohl von griechischen Autoren des Hellenismus verfassten Schriften betrachtet wurde und bis in die Gegenwart in der okkulten und esoterischen Literatur figuriert.

Eine nicht minder bedeutende Persönlichkeit in der muslimischen Alchemie/Chemie ist der Mediziner

Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya al Razi, lat. Rhazes (865– 925)

(s.w.u. Medizin), der auf Grundlage der Lehre von den vier Elementen die Transmutation durch geeignete Elixiere für möglich hielt, wobei er sich in manchen Bereichen den von *Jabir Ibn Hayyan* vertretenen Anschauungen anschloss (ohne diesen jedoch zu erwähnen), in anderen wieder nicht. Rhazes hat sich möglicherweise in späteren Jahren auf Grund der Erfolglosigkeit seiner Versuche von den alchemistischen Vorstellungen eher entfernt. Sein Hauptinteresse galt der praktischen Chemie im Sinne pharmazeutischen Bemühens zur Herstellung von Heilmitteln. In seinem Werk

- *Secretum secretorum*, gibt er eine ausführliche Beschreibung der für seine chemischen Arbeiten nötigen Gerätschaften, die erkennen lassen, wie sein Laboratorium ausgesehen haben dürfte. Und er zählt auch auf, mit welchen Stoffen er arbeitet, gegliedert in nach den drei Reichen der Natur Substanzen mineralischer, pflanzlicher und tierischer Herkunft.

Die Beschäftigung mit der Alchemie weitete sich im muslimischen Bereich enorm aus, es entstanden zahlreiche einschlägige Traktate. Einen gewissen Abschluss bildet der Iraker

Abu-l-Qasim Muhammad ibn Ahmad al-Iraqi (13. Jh)

al-Iraqi verfasste im 13. Jh ein eher radikal-alchemistisches Werk über die Herstellung von Gold, demzufolge es sechs Metalle gebe, die zufällige Erscheinungsformen der einen Materie seien und in aufsteigender Linie zum Gold führten: Zinn und Magneteisenstein sind ihm Vorstufen des Silbers, sind im Gegensatz zu Gold, Kupfer und Eisen zu kalt etc. etc. Metalle werden mit Elixieren – *al-iksir* – behandelt und "transmutiert" etc.etc.

Zu einer systematischen wissenschaftsorientierten Behandlung der Fragen der Chemie ist es in weiterer Folge nicht wirklich gekommen; lediglich im Bereich der Medizin erfolgte eine Ausweitung (s.u. *al-Razi*). Ansonsten wurde das Feld von der Alchemie beherrscht. So blieb es auch im abendländischen Bereich bis in die Neuzeit hinein. Fortschritte wurden in der handwerklichen Praxis erzielt und tradiert, ohne Eingang in das zu finden, was wir als Entwicklung wissenschaftlicher Tätigkeit bezeichnen.

Zu den entschiedenen Gegnern der Alchemie zählten *Avicenna*, der die alchemistischen Bemühungen als absurd und die von Gott geschaffenen natürlichen Dinge für nicht imitierbar hielt, und *Ibn Khaldun*,

der zwei Kapitel seines Muqaddimah einer ausführlichen Zurückweisung der Alchemie widmete²³⁹. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch eine um 1220 entstandene Arbeit des Syrers Abdul Rahim ibn Umar al-Dimashqi al-Jawbari gegen Alchemie, Quacksalberei und Betrügerei in diesem Bereich.

5.1.6 Botanik

Die biologischen Interessen der Muslime waren wenig ausgeprägt. Obgleich die Araber resp. die islamischen Völker in der Anlegung von Gärten unerreichbar waren, hat die theoretische Botanik in der ersten Zeit wenig interessiert, auch wenn die Beschäftigung mit Heilpflanzen intensiv war und deren Kataloge in zahlreichen Werken fortgeschrieben wurden. Erst in der Spätzeit, als sich das Schwergewicht der wissenschaftlichen Betätigung von Bagdad nach dem Westen verlagert hatte, kam es zu intensiverer Beschäftigung mit der Botanik über die Heilpflanzenkunde hinaus (s.w.u. Materia medica)²⁴⁰.

Abu Hanifa al-Dinawari (fl. 900)

Al-Dinawari gilt als der Begründer der arabischen Botanik. Von seinem umfangreichen Werk – Kitab al-nabat, Buch der Pflanzen, sind allerdings nur Teile enthalten, vor allem fehlt der interessanteste Teil über die Klassifikation, die Systematik der Pflanzen. Sein Werk, in dem 637 Pflanzen beschrieben werden, ist immer wieder als Quelle für andere ähnliche Arbeiten herangezogen worden.

Diya al-Din Abu Muhammad Abdallah ibn Ahmad Ibn al-Baytar al-Malaqi (1190-1248)

aus Malaga, der durch Nordafrika in den Vorderen Orient zog und sich schließlich in Kairo niederließ, verfasste eine umfassende medizinische Enzyklopädie, die 1400 tierische, pflanzliche und mineralische Medikamente beschreibt und langehin ein Standardwerk von Rang war (s. w. u.).

5.1.7 Medizin

Die Medizin ist im muslimischen Raum auf der Grundlage vor allem der griechischen, aber auch unter indischen Einflüssen auf sehr hohem Niveau betrieben worden²⁴¹. Dies hat naturgemäß die Ausweitung

239S. dazu Anawati 875-882.

240Eine Übersicht gibt Toufic Fahd, Botany and agriculture. In: EHAS III 813-852, wo 821-850 über die Agrikultur gehandelt wird, deren Texte als Ergänzung zu den in einem engeren Sinne botanisch orientierten Arbeiten zu sehen sind; unter diesen ist eine Handschrift zur nabatäischen Agrikultur von besonderer Bedeutung.

241S. zu diesem Bereich Emilie Savage-Smith, Medicine. In: EHAS III 903-962, und hinsichtlich der Rezipierung im lateinischen Westen Danielle Jaquart, The influence of Arabic medicine in the medieval West. In: EHAS III 963-984.

vor allem biologischer, aber auch chemischer und anderer naturwissenschaftlicher Kenntnisse gefördert. Es sei deshalb hier auf die wichtigsten Elemente dieser Entwicklung und auf die bedeutendsten Mediziner des muslimischen Bereiches hingewiesen.

Am Anfang standen auch hier die Übersetzungen, vor allem durch *Hunain ibn Ishaq*, dessen Sohn eine erhaltene Liste griechischer Ärzte erstellte, und *Thabit ibn-Qurra*. Die Grundlage des medizinischen Denkens bildete die aus GALEN übernommene Humoralpathologie, d.h. die Auffassung, dass Krankheiten aus einer Störung des ausgewogenen Zusammenwirkens der vier grundlegenden Körpersäfte (Blut, Schleim, weiße Galle und schwarze Galle) resultierten, die den vier Elementen zugeordnet und mit astrologischen Bedeutungen belegt wurden.

Ausgehend von religiösen Geboten, die in reichem Maße auf Gesundheit und Krankheit Bezug nahmen, entstanden im muslimischen Bereich früh Spitäler und Wohlfahrtseinrichtungen auf der Grundlage von religiös motivierten Stiftungen. In Bagdad ist es sehr rasch, schon unter *Harun-al-Raschid*, zum Ausbau der ersten großer, außerordentlich gut organisierter und personell, materiell und räumlich exzellenter öffentlicher (und zumeist weltlicher) Krankenhäuser gekommen²⁴², die jedermann (ungeachtet seines Standes oder seiner Konfession) offenstanden²⁴³ und an denen zahlreiche Ärzte tätig waren und gleichzeitig auch klinisch lehrten – es waren dies Einrichtungen, die in etwa unseren heutigen Universitätskliniken entsprachen. Der Arzt nahm hier eine ganz andere Position ein als später im europäischen Mittelalter – er handelt direkt und unmittelbar, leitet das Spital, das in Abteilungen gegliedert ist (u.a. oft auch eine für Geisteskranke) und über eine eigene Bibliothek und Apotheke verfügt. Für die Ausübung des Arztberufes war eine staatliche Prüfung Vorbedingung, ähnlich verhielt es sich mit dem Apothekenwesen²⁴⁴. Damit war man den abendländischen Verhältnissen um fast ein Jahrtausend voraus!²⁴⁵ Sukzessive wurden die nach wie vor hochgerühmten griechischen Ärzte durch Muslime abgelöst. Unter ihnen sind als von bleibendem Einfluss zu nennen:

Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya al Razi, lat. Rhazes (865– 925)

al-Razi stammte aus Rayy (heute Rey, nahe Teheran, war eine der bedeutendsten muslimischen Städte der Frühzeit,) und gilt als der größte Kliniker des Islam und wohl des Mittelalters überhaupt – seine Werke galten bis in das 17. Jh als Kanon. Er verkörpert den rational denkenden Wissenschaftler im

242 Strittig ist die Frage nach der Vorbildwirkung von Jundischapur oder aber syrischer Einrichtungen.

243 Sie dienten nicht nur der Behandlung akuter Fälle, sondern hatten auch die Funktion von Rekonvaleszenzheimen, von Heimen für unversorgte Alte und für Unheilbare, z.B. Geisteskranke oder Lepröse. In diesen Einrichtungen arbeiteten auch jüdische und christliche Mediziner. Vor allem Bagdad, Kairo und Damsakus vor allem waren berühmt für ihre großen Spitäler, die auch wichtige Ausbildungsorte waren. Diese Spitäler stellten oft die größten öffentlichen Budgetposten dar.

244 All das konnte aber natürlich Quacksalberei und Kurpfuscherei nicht verhindern, wie sie etwa *al-Razi* massiv angegriffen hat.

245 Für Bagdad hat man für das Jahr 931 die Zahl der Ärzte auf je einen pro 300 Einwohner geschätzt.

muslimischen Bereich. Obgleich er in verschiedenen Gebieten, anfangs auch in der Alchemie, tätig war, erlangte er überragende Bedeutung als Arzt; als skeptischer und rational orientierter Philosoph stieß er auf Widerstand. Im Zusammenhang mit seiner Arbeit in der Medizin hat er auch wertvolle Erkenntnisse in der Chemie erworben und ist so als ein bedeutender früher Iatrochemiker einzustufen. *al-Razi* sagt von sich selbst, er habe an die 200 Bücher und „Artikel“ verfasste. Nur ein Teil von diesen ist medizinischer Natur, und viele seiner Schriften sind verloren. Unter den medizinischen Werken sind hervorzuheben

- *Kitab al-Hawi*, in etwa: „Das rechtschaffene Leben“, lat. „*Liber Continens*“, eine enorme Kompilation in neun Büchern, die er in 15jähriger Arbeit erstellt hat und die kritisch griechische, syrische und arabische Medizin zusammenfasst und auch indische Kenntnisse mit einbezieht, viele Rezepte und Inhalte der Notizbücher des *al-Razi* enthält. Es finden sich über dieses Werk in der Literatur recht unterschiedliche Angaben. Sein umfangreiches Wissen, das jenes der Griechen und der Inder einschloss, hat *al-Razi* in zwei medizinischen Enzyklopädien – eine in 20, eine zweite in 10 Bänden, die kleinere hauptsächlich auf Grundlage der griechischen Medizin – niedergelegt, die in zahlreichen Abschriften und dann in unzähligen Druckauflagen als "*Liber continens*" (= Das umfassende Buch) und "*Liber Almansoris*" (= Das Buch für Abu Mansur, den damaligen Herrscher in Rayy) erschienen sind. Erste Ausgaben erschienen noch vor 1500..
- *Man a la Yahduruhu Al-Tabib*, Ärztlicher Ratgeber, es handelt sich hier gewissermaßen um ein medizinisches Hausbuch, das *al-Razi* den Armen, Reisenden und Bürgern widmete, die sich mit diesem Werke behelfen können sollte, wenn kein Arzt erreichbar sei. In 36 Kapiteln beschreibt er in allgemein verständlicher Weise Ernährungsmaßnahmen und Medikamente bzw. wie sie herzustellen seien. Unter den Krankheiten, die besprochen werden, finden sich Kopfschmerzen, Erkältungen, Augen-, Ohren- und Magenerkrankungen, Husten, Melancholie etc.
- *al-Judari wa al-Hasbah*, Buch über Pocken und Masern, dieses Werk ist dutzende Male in das Lateinische und in europäische Sprachen übersetzt worden. Aus einer englischen Übersetzung bezüglich der Pocken: "The eruption of smallpox is preceded by a continued fever, pain in the back, itching in the nose and nightmares during sleep. These are the more acute symptoms of its approach together with a noticeable pain in the back accompanied by fever and an itching felt by the patient all over his body. A swelling of the face appears, which comes and goes, and one notices an overall inflammatory color noticeable as a strong redness on both cheeks and around both eyes. One experiences a heaviness of the whole body and great restlessness, which expresses itself as a lot of stretching and yawning. There is a pain in the throat and chest and one finds it difficult to breath and cough. Additional symptoms are: dryness of breath, thick spittle, hoarseness of the voice, pain and heaviness of the head, restlessness, nausea and anxiety. (Note the difference: restlessness, nausea and anxiety occur more frequently with 'measles' than with smallpox. At the other hand, pain in the back is more apparent with smallpox than with measles). Altogether one experiences heat over

the whole body, one has an inflamed colon and one shows an overall shining redness, with a very pronounced redness of the gums." – aus wikipedia (wesentlich zu al-Razi: DSB und Sarton). und wird verschiedentlich auch als Teil des „Liber Continens“ gesehen. Beide Krankheiten werden mit hervorragender Beobachtungsgabe beschrieben, und al-Razi gibt exakte Behandlungsanweisungen – diese Schriften gelten als die Glanzstücke der muslimischen Medizin schlechthin.

- Shukuk 'ala alinutor, Zweifel an Galen, ist eine rational-kritische Auseinandersetzung mit dem, von ihm verehrten, griechischen Arzt, die sich nicht nur auf Medizin, sondern auch auf philosophische Fragen erstreckt. Insbesondere greift er die Humoralpathologie an. al-Razi stellt fest, dass die Ärzte seiner Zeit über andere Möglichkeiten und Kenntnisse verfügten, als sie Galen zur Verfügung gestanden hätten.

al-Razi, der sich selbst als „muslimischen Hippokrates“ gesehen haben soll, hat nicht nur als erster die Pocken (in Bagdad) und die Masern als Krankheiten erkannt und sie eingehend und präzise beschrieben, sondern auch allergische Erkrankungen und auch das allergische Asthma; er stellt fest, dass das Riechen an einer Rose eine Rhinitis auslösen könne – er war damit der erste Mediziner, der zu Problemen der Allergie und der Immunologie sich geäußert hat. *al-Razi* erkannte auch das Fieber als eine natürliche Abwehrmaßnahme des Körpers. Eingehend hat er sich mit Augenerkrankungen befasst, er kennt die Lichtreaktion der Pupille und hat zur Weiterentwicklung der chirurgischen Ophthalmologie, aber auch der Gynäkologie und Geburtshilfe beigetragen. Er hat als erster tierischen Darm als Nahtmaterial verwendet, hat den Gipsverband und zahlreiche klinische und pharmazeutische Geräte entwickelt, die bis in das frühe 20. Jh noch in Verwendung standen. Den Ort für den Bau eines Krankenhauses in Bagdad soll er bestimmt haben, indem er an verschiedenen Orten Fleischstücke aufhängte – gebaut wurde an dem Ort, an dem sich das Fleisch am längsten gehalten hatte. Es sind von ihm sogar Krankengeschichten überliefert.

al-Razi erzielte spektakuläre Heilerfolge und hatte ungeheuren Zulauf. Er trat gegen Kurpfuscher und Quacksalber auf und vertrat öffentlich die Ansicht, dass auch ein noch so guter Arzt nicht alle Krankheiten heilen könne; dem entsprechend unterschied er zwischen heilbaren und unheilbaren Krankheiten und verwies in diesem Zusammenhang auf Krebs und Lepra.

al-Razi war aber, wie erwähnt, auch Alchemist und wandte sich zur Verteidigung der Alchemie in einer seiner zahlreichen alchemistischen Schriften gegen *al-Kindi*. Er war ursprünglich überzeugt von der Möglichkeit der Transmutation minderer Metalle in Silber und Gold; es ist aber auch überliefert, dass er erklärt haben soll, er glaube (nach langen Versuchen) nicht mehr an diese Möglichkeit. Trotz seiner alchemistischen Einstellung hat er wesentlich zur Entwicklung der Chemie beigetragen – *Jabir Ibn Hayyan* erwähnt er allerdings an keiner Stelle! Seine bekanntesten diesbezüglichen Schriften sind – *al-Asrar*, Das Geheimnis, in diesem Werk behandelt *al-Razi* in drei Büchern die ihm nötig erscheinenden Materien

- die Kenntnis und Identifizierung von tierischen, pflanzlichen und mineralischen Heilstoffen, wobei er eine Klassifizierung mineralischer Substanzen gibt,
- die Kenntnis der Ausrüstung und Werkzeuge für die alchemistische und pharmakologische Arbeit: Geräte für die Behandlung von Metallen und Geräte für die Transmutation und die Destillation
- die Kenntnis von sieben alchemistischen Prozeduren und Techniken

und

- *Sirr al-Asrar, Secretum secretorum*, Das Geheimnis der Geheimnisse, dieses Buch hat am meisten Aufmerksamkeit im Westen erlangt – es behandelt die grundlegenden chemischen Operationen und gibt Einblick in die Geschichte der Pharmazie (s.w.o. Alchemie/Chemie).

al-Razi hat entschieden jegliche Autorität zurückgewiesen und auf kritischer Betrachtung aller Bereiche bestanden. Bezüglich der Medizin hat er das so erläutert: „*Medizin ist Philosophie [=Wissenschaft] und das ist nicht vereinbar mit der Zurückweisung von Kritik, auch nicht hinsichtlich führender Autoren*“, wie eben *Galen*, und so hätten auch Schüler *Aristoteles* kritisiert. So wie wissenschaftliche Dogmen hat er auch religiöse Dogmen zurückgewiesen – die religiösen Wunder beruhen nur auf Tricks der Propheten der drei großen monotheistischen Religionen wie der Manichäer (diesem Thema hat *al-Razi* eine eigene Schrift gewidmet. Männer der Wissenschaft wie *Euklid* und *Hippokrates von Kos* seien deshalb weit wichtiger als irgendwelche Propheten. Auf die Frage, wie ein Philosoph es mit durch Propheten geoffenbarter Religion halte, antwortete *al-Razi*: „*Wie kann jemand philosophisch denken und gleichzeitig doch Altweibererzählungen lauschen, die auf Widersprüchen verstockter Unwissenheit und auf Dogmatismus beruhen?*“

Hinsichtlich der Struktur der Welt vertrat *al-Razi* die Absolutheit des Raumes im Sinne des *Euklid* und den Atomismus nach *Demokrit*, ohne deshalb aber diesbezüglich einem Dogmatismus zu verfallen. Was die Erschaffung der Welt anlangt, so sei sie durch Gott nicht erschaffen, sondern nur aus bereits Vorhandenem geformt worden. Auch die Zeit ist an sich gegeben und ohne Anfang und ohne Ende²⁴⁹.

249 Auszug aus seiner "philosophischen Autobiographie": "[...] *In short, while I am writing the present book, I have written so far around 200 books and articles on different aspects of science, philosophy, theology, and [[hekmat]] (wisdom). [...] I never entered the service of any king as a military man or a man of office, and if I ever did have a conversation with a king, it never went beyond my medical responsibility and advice. (...) Those who have seen me know, that I did not into excess with eating, drinking or acting the wrong way. As to my interest in science, people know perfectly well and must have witnessed how I have devoted all my life to science since my youth. My patience and diligence in the pursuit of science has been such that on one special issue specifically I have written 20,000 pages (in small print), moreover I spent fifteen years of my life -night and day- writing the big collection entitled Al Hawi. It was during this time that I lost my eyesight, my hand became paralyzed, with the result that I am now deprived of reading and writing. Nonetheless, I've never given up, but kept on reading and writing with the help of others. I could make concessions with my opponents and admit some shortcomings, but I am most curious what they have to say about my scientific achievement. If they consider my approach incorrect, they could present their views and state their points clearly, so that I may study them, and if I determined their views to be right, I would admit it. However, if I disagreed, I would discuss the matter to prove my standpoint. If this is not the case, and*

Abul Qasim Khalaf ibn al-Abbas al-Zahrawi, lat. Abulcasis (936-1013)

al-Zahrawi stammte aus der Gegend von Cordoba und ist vor allem als Chirurg berühmt geworden – seine

- Al-Tasrif, eine medizinische Enzyklopädie in 30 Bänden, innerhalb derer die Bücher zur Chirurgie lange als chirurgisches Standardwerk galten – das vor allem auf die Gynäkologie, Ophthalmologie, das Ohr, den Hals und die Zähne (bis hin zur Zahnregulierung und künstlichen Zähnen) einging. Es werden u.a. die Entfernung von Blasensteinen, eines toten Fötus behandelt und es ist auch bereits von häufiger Anwendung der Kauterisierung zur Blutstillung die Rede. Nachrichten über die Durchführung von Entbindungen im Wege des Kaiserschnittes, wie sie in poetischen Werken vorkommen, sind in das reich der Legende einzureihen – es wurden vermutlich derartige Operationen unmittelbar nach dem Tod der Mutter zur Rettung des ungeborenen Kindes vorgenommen, von den muslimischen Juristen aber als rechtlich und religiös unzulässig verworfen. Wäre ein derartiger Eingriff an einer lebenden Frau vorgenommen worden, hätte er mit Gewissheit den Tod zur Folge gehabt.
- Sehr wohl durchgeführt wurde, wenn auch selten, der Luftröhrenschnitt zur Lebenserhaltung, al-Razi beschreibt ihn im Detail, al-Zahrawi gibt an, keine derartige Operation erlebt zu haben. Die Entfernung von Blasensteinen, Hämorrhoiden, eitrigen Mandeln, oberflächlichen Tumoren, die Öffnung von Abszessen wurden häufig vorgenommen. Spezielle Gebiete, die von der allgemeinen Chirurgie abgesondert geübt wurden, waren die Augenheilkunde (mit der Kataraktoperation) und meist auch die Gynäkologie.. Zahlreiche Beschreibungen und Abbildungen z.T. von al-Zahrawi entwickelter chirurgischer Instrument vervollständigten das Bild. In vielem hat al-Zahrawi auf Paulos von Aeginetae zurückgegriffen, der im 7. Jh als einer der letzten Griechen in Alexandria wirkte, auch nach der arabischen Invasion 642 dort blieb und großen Einfluss auf die arabische Medizin gewann. Über Paulos von Aeginetae ist sehr wenig bekannt, er wurde als Wanderarzt bezeichnet und gilt als Autor einer bedeutenden medizinischen Enzyklopädie; besonders geschätzt wurden seine gynäkologischen Ausführungen. Sein Werk wurde ab dem 13. Jh indirekt durch Zitate muslimischer Autoren, dann zur Gänze und aber ab 1528 gedruckt in vielen Ausgaben bekannt..

al-Zahrawi' Werke sind sehr bald ins Lateinische, Hebräische und Provençalische übersetzt und noch im 15. Jh. gedruckt worden. Es hat auch lange Zeit den Lehrplan der medizinischen Fakultäten mitbestimmt.

Abu Ali al Husayn ibn Abdallah Ibn Sina, lat. Avicenna (980 – 1037)

Ibn Sina, der führende islamische Philosoph des Ostens – "Meister des Wissens", "dritter Aristoteles" – ist auch als Mediziner hervorgetreten, war einer der größten muslimischen Gelehrten des Mittelalters

überhaupt. Er hat aber in der Medizin Erstrangiges geleistet (auch wenn er diesbezüglich *al-Razi* nachgereiht werden muss, der ihm dafür als Philosoph nachsteht), wie er überhaupt in seinen rund 100 Büchern praktisch über alle Wissensgebiete der damaligen Zeit gehandelt hat – obgleich er ein äußerst turbulentes Leben führte, da er die unglückliche Gabe hatte, sich immer wieder an Höfen aufzuhalten, deren Fürsten sehr rasch gestürzt wurden.

- *Kanun fi'l Tibb* = Kanon der Medizin in fünf Büchern, nach Galen außerordentlich systematisch aufgebauter Codex der Medizin, geht vom Allgemeinen, der Definition der Aufgaben der Medizin aus (dieses erste Buch enthält die Lehre von den vier Elementen und den vier Säften, die in unterschiedlicher Mischung für die Ausformung der individuellen Gegebenheiten verantwortlich seien, und von den von ihm postulierten Kräften: der psychischen Kraft, die ihren Sitz im Gehirn hat, der Kraft der Natur (Sitz in der Leber und den Eingeweiden), der animalischen Kraft (Sitz im Herzen), handelt dann von der Aitiologie und den Symptomen, von Hygiene und von Therapie. Das zweite Buch befasst sich mit der *Materia Medica*, d.h. der Lehre von den Medikamenten; das dritte Buch stellt dann die wichtigsten Krankheiten von Kopf bis Fuß in Diagnose und Therapie vor. Darunter auch Geschlechts- und Hautkrankheiten, zahlreiche psychische Krankheiten werden klar beschrieben, wenn auch falsch erklärt., gibt auch Angaben zu Prophylaxe und Hygiene. Er erkannte die Übertragungsmöglichkeit von Krankheiten durch Wasser und Boden, die kontagiöse Natur der Lungentuberkulose.; das vierte Buch handelt von nicht organspezifischen allgemeineren Krankheiten und von der Chirurgie, das fünfte Buch handelt schließlich von den zusammengesetzten Medikamenten – es wird die Zubereitung von 760 Medikamenten beschrieben – in letzterem Zusammenhang gibt er eine Darstellung der pharmakologischen Methoden der Zeit. Ibn Sina stellt fest, dass Tuberkulose ansteckend ist, dass Krankheiten auch durch Wasser und Erde übertragen werden können, handelt von Darmwürmern, vom Einfluss des Klimas und der Umwelt, kennt orale Anästhesie, rät den Chirurgen bei Krebs darauf zu achten, dass unbedingt alles krankhafte Gewebe entfernt werde. Ibn Sina hat auch psychische Effekte berücksichtigt, u.a. festgestellt, dass Musik einen positiven Effekt ausübe.

Das Werk ist zwar im Westen, u.a. durch Ibn Ruschd herb kritisiert worden, wurde aber doch im 12. Jh bereits von Gerhard von Cremona übersetzt, 1527 erschien das Werk erstmals im Druck, an die 30 weitere Ausgaben folgte. Bis 1650 war es an den Universitäten Montpellier und Löwen als Lehrbuch vorgeschrieben. Im Orient stand das Werk bis in das 19./20. Jh in Verwendung.

- *Ahkam al-adwiya al-qalbiyya, De viribus cordis seu de medicamentis cordialis*, diese Schrift ist zwar um 1500 übersetzt, aber erst im 20. Jh im Druck publiziert worden und handelt von Herzdrogen.

Abu l Walid Muhammad ibn Ahmad ibn Muhammad Ibn Rushd, lat. Averroes
(1126-1198)

der größte arabische Philosoph des Westens, der sich auch der Medizin zuwandte, für welche er zwischen 1153 und 1169 die große Enzyklopädie

- al-Kulliyat (arab. = Universalia), verballhornt zu Colliget, die wesentlich auf Galen zurückgreift und der des Rhases und des Ibn Sina zur Seite zu stellen ist. Ibn Ruschd hat die Funktion der Netzhaut erkannt! Das Werk ist in sieben Bücher gegliedert: Anatomie, Gesundheit, Krankheit, Symptome, Medikamente und Nahrung, Hygiene und Therapie. Diesem Werk trat ein medizinisches Handbuch für spezifische Krankheiten zur Seite, das auf des Ibn Ruschd Veranlassung von dessen Freund Ibn Zuhr verfasst und in der Folge meist im Verbund mit dem „Kullijat“ verbreitet worden ist – beide Werke zusammen sollten den im muslimischen Westen ungünstig aufgenommenen Kanun des Ibn Sina ersetzen. Das Werk, von dem auch kürzere Fassungen schon zur Zeit des Ibn Ruschd entstanden waren, ist 1255 in Padua erstmals (und später des Öfteren) ins Lateinische, bald aber auch ins Hebräische übersetzt und bereits 1482 in Venedig erstmals gedruckt worden.

Ala al-Din Abu l'Hasan Ali Ibn Abi l'Hazm al-Qurashi Ibn al-Nafis (ca. 1210 – 1288)

Ibn *al-Nafis* studierte in Damaskus Medizin am großen Nuri-Spital und wirkte hierauf in Ägypten. Er erwarb sich neben seinem großen Namen als Mediziner auch einen Ruf als Jurist. Ibn *al-Nafis* verfasste in seinem vierten Lebensjahrzehnt das

- Kitab al-Shamil fi l'Sinaa al-Tibbiyya – Kompendium der Medizin, ein riesiges Werk, das auf 300 Teile geplant war, von denen aber „nur“ 80 von Ibn al-Nafis veröffentlicht worden sind. Dieses Werk galt bis 1952 gänzlich als verloren, bis in Cambridge und dann später in Stanford Fragmente entdeckt wurden; zwei weitere Fragmente sollen noch in Bagdad und in Damaskus existieren. Die erhaltenen Teile sind primär chirurgischen Inhalts und zwar sowohl in theoretisch-ethischer wie auch praktischer Hinsicht: es wird gehandelt von der Diagnose, vom Vertrauen des Patienten in den Operateur, dem Eingriff selbst und schließlich von der postoperativen Behandlung bis hin zu Details wie dem Dekubitus.
- Sharh Tabi'at al-Insan li-Buqrat, Kommentar zu des Hippokrates von Kos „Natur des Menschen“, ist als ein von Ibn al-Nafis signiertes Studienbuch eines Studierenden erhalten
- Sharh Tashrih al-Qanun, Kommentar zur Anatomie in den Büchern 1 und 3 des Kanun des Ibn Sina, ist der vielleicht interessanteste Text: hier gibt Ibn al-Nafis im Jahr 1242 die erste Beschreibung des „kleinen“ Blutkreislaufes, des Herz-Lungen-Blutkreislaufes:

"...the blood from the right chamber of the heart must arrive at the left chamber but there is no direct pathway between them. The thick septum of the heart is not perforated and does not have visible pores as some people thought or invisible pores as Galen thought. The blood from the right chamber must flow through the vena arteriosa (pulmonary artery) to the lungs, spread through its substances,

be mingled there with air, pass through the arteria venosa (pulmonary vein) to reach the left chamber of the heart and there form the vital spirit...", an anderer Stelle heißt es: "The heart has only two ventricles ...and between these two there is absolutely no opening. Also dissection gives this lie to what they said, as the septum between these two cavities is much thicker than elsewhere. The benefit of this blood (that is in the right cavity) is to go up to the lungs, mix with what is in the lungs of air, then pass through the arteria venosa to the left cavity of the two cavities of the heart...". Bezüglich der Lungen stellt Ibn al-Nafis fest: "The lungs are composed of parts, one of which is the bronchi; the second, the branches of the arteria venosa; and the third, the branches of the vena arteriosa, all of them connected by loose porous flesh... the need of the lungs for the vena arteriosa is to transport to it the blood that has been thinned and warmed in the heart, so that what seeps through the pores of the branches of this vessel into the alveoli of the lungs may mix with what there is of air therein and combine with it, the resultant composite becoming fit to be spirit, when this mixing takes place in the left cavity of the heart. The mixture is carried to the left cavity by the arteria venosa."

Diese Feststellung nimmt die bis 1952 als Erstentdeckung bewertete Beschreibung dieses Kreislaufes durch Michael Servetus (1553) in Genf und durch den italienischen Anatomen und Physiologen Realdo Colombo (1559) für mehr als 300 Jahre vorweg. Es ist unklar, inwieweit die Kenntnis darüber in den Westen gelangt ist, was durch die Übersetzung des Textes durch den zeitweise in Syrien arbeitenden Andrea Alpago von Belluno ermöglicht gewesen sein könnte.

Von Ibn *al-Nafis* stammen weitere medizinische Schriften, die z.T. auch in Auszügen weite Verbreitung fanden und vielfach in die Gestalt von Kommentaren zu *Hippokrates von Kos*, *Galen* und anderen, muslimischen, Autoren gekleidet waren. Aus religiösen Gründen hat er keine Anatomie betrieben, auch nicht an Tieren. Gleichwohl hat er im Bereich der Physiologie größten Wert auf ein Höchstmaß an Empirie gelegt, um zu tragfähigen Ergebnissen zu gelangen – ohne Rücksicht darauf, ob sie mit denen der Vorgänger übereinstimmen oder nicht.

Neben der bislang beschriebenen Medizin entwickelte sich im muslimischen Bereich ab dem 10. Jh auch eine religiös-mystisch bestimmte „prophetische Medizin“, die auf Prophylaxe im Sinne der religiösen Vorschriften ausgerichtet war. Sie war Nährboden für wenig seriöse Unternehmungen, wirkte sich ab dem 11. Jh unter dem Einfluss auch der Stärkung der Orthodoxie negativ auf die Medizin aus, ja brachte ihre weitere Entwicklung mitunter zum Erliegen und hatte jahrhundertlang neben der auf Grundlage der griechischen Tradition betriebenen Medizin Bestand.

Die Materia medica

Neben der klassischen Bereichen der Medizin (und in dieser insbesondere der Ophthalmologie) – des Erfolges in der Katarakt-Operation („Grauer Star“) waren sich manche Ärzte so sicher, dass sie sie auch bei Einäugigen durchführten²⁵⁵ – erbrachten die Muslime naheliegenderweise auch sehr beachtliche Leistungen im Bereich der *materia medica*, d.h. der frühen **Pharmakologie**, die initiiert beeinflusst erscheinen durch das bekannte Werk des *Dioscurides*. Verfasser eines der frühen Standardwerke in diesem Bereich war Abu ar-Rayhan *al-Biruni* (973-1051) s.o. Ein Jahrhundert später, um 1165, erstellte der im Westen wirkenden

Abu Jafar al-Ghafari (fl. 1165)

(über den so gut wie nichts bekannt ist) mit seinem Werk „al-Jami' al-Adwiyah al-Mufradah“ ein weit verbreitetes Werk zur *Materia medica*, praktisch eine Pharmakopöe, die ihrerseits dem zusammenfassenden und systematisierenden Werk des

Abu Muhammad Abdallah ibn Ahmad Ibn al-Baytar al-Malaqi-Andalusi (1190-1248)

aus Malaga als Vorbild und wohl auch weithin als Vorlage diente. *Ibn al-Baytar* studierte in Sevilla, und zwar überliefertermaßen nicht nur *Galen* und die andere eingeführten Autoren, sondern auch den *Dioscurides*, ging um 1220 nach dem Osten, nach Kleinasien und Syrien und ließ sich schließlich in Kairo nieder; sein Hauptwerk ist „al-Jami' li Mufradat al Adweya wa al-Aghtheya...“ („Das vollständige Buch der einfachen Heilmittel und der Ernährung“), in dem er unter Heranziehung von 140 Autoren alphabetisch etwa 1400 mineralische, pflanzliche und tierische Heilmittel auflistet. U.a. gibt er darin an, dass man mit der (elektrischen) Wirkung des Zitterrochenes Kopfschmerzen behandeln könne, dass aber nur das lebende Tier über diese Fähigkeit verfüge²⁵⁶. Das Werk hatte lange Zeit großen Einfluss auf die Pharmakopöen im Osten, weit weniger im Westen.

Abul Hasan al-Mukhtar ben Abdum ben Sadum al-Baghdadi, auch Ibn Butlan († 1068)

Ibn Butlan, der auch unter dem Namen Ububchsym de Baldach figuriert, war ein angesehener syrisch-christlicher Arzt im muslimischen Bereich, der mit seinem Werk

- *Taqwin al-sihha*, ein diätetisches Werk geschaffen; „*Taqwim*“ bezeichnete in der älteren arabischen Astronomie ein Tafelwerk, also eine in Tabellenform verfasste Zusammenstellung von astronomischen Beobachtungsdaten. „*Taqwim as-sihha*“ kann demnach mit „Gesundheitstafeln“

255 Ab etwa 1000 nChr hat man auch die Linsenmasse nach dem Schnitt nicht mehr nur beseitigedrückt, sondern überhaupt aus dem Auge entfernt.

256 Der Zitterrochen – vermutlich handelte es sich um *Torpedo torpedo* – gibt normalerweise Stromstöße von 75-80 Volt Spannung ab, in besonders erregten Zuständen allerdings auch bis zu 200 Volt.

übersetzt werden. Ibn Butlan hat sich hier bemüht, die zum allergrößten Teil auf der griechischen Humoralpathologie zurückgehende Gesundheits- und Ernährungslehre in einer systematischen und übersichtlichen Form zusammenzufassen. Diese Form war es auch, die es – im Vergleich zu vielen anderen medizinischen Werken – zu einem leicht handhabbaren Handbuch machen, dem in weiterer Folge im lateinischen Europa großer Erfolg beschieden war, nachdem das Werk um die Mitte des 13. Jhs, vermutlich am Hofe Manfreds von Sizilien übersetzt worden war. Bereits zu Ende des 13. Jhs tauchen die ersten illustrierten Ausgaben auf, die auf Grund ihrer reichhaltigen Bebilderung ein beliebtes Thema der Kunstgeschichte geworden sind.

5.1.8 „Geographie“ – Länderkunde

Wie in nahezu allen Wissenschaftsbereichen der Antike haben die Muslime auch in der Geographie weitergearbeitet, wenn auch – wie bei den Griechen ja auch – von einer Geographie im modernen Sinne nicht gesprochen werden kann. Vom Einfluss, den *Ptolemaios* ausübte, zeugt der Umstand, dass das griechische Wort in das Arabische übernommen worden ist: *jughrafiya*.

Ein Teil der muslimischen Kartographen folgte hinsichtlich des Nullmeridians *Ptolemaios*, der ihn durch die Kanaren gelegt hatte, ein anderer Teil unter Führung *al-Khwarizmis* nahm den Nullmeridian aus unbekanntem Gründen (vielleicht auch nur irrtümlich) 10 Grad östlich der Kanaren an. Zu *al-Mamuns* Zeiten wurde bestimmt, dass Bagdad auf 70 Grad östlicher Länge liege; ein Teil der muslimischen Karten gibt, *Ptolemaios* folgend, 80 Grad an²⁵⁷. Verschiedentlich wurde in Anlehnung an China und Indien ein dritter Nullmeridian verwendet, der von der Ostküste Chinas aus nach dem Westen gerechnet wurde. Die Inder nahmen aber sehr bald den Meridian durch Ujjain als Nullmeridian an („Indisches Greenwich“). Hinsichtlich der auf Grund der enormen West-Ost-Erstreckung der muslimischen Bereiches wesentlichen Längenbestimmung suchte man sich mit Sonnenfinsternissen zu behelfen, die als von verschiedenen Orten gleichzeitig zu beobachtende Ereignisse dem jeweiligen Mittagszeitpunkt gegenübergestellt und so hinsichtlich der Längenposition ausgewertet werden konnte – ein Verfahren, das auch mit Hilfe anderer astronomischer Ereignisse (Jupitermonde, Venusdurchgang u.ä.) bis zur Anwendung brauchbarer Chronometer immer wieder angewendet wurde.

Bezüglich der kartographischen Darstellung folgten die Muslime der Weltkarte des *Ptolemaios*, von der einer Aussage *al-Masudis* zufolge unter den Abbasiden zumindest ein Exemplar, wenn nicht mehrere, noch existierte. Von der immer wieder erwähnten Karte *al-Mamuns*, die gewissermaßen eine Verbesserung bzw. Ausweitung der Weltkarte des *Ptolemaios* dargestellt haben muß, ist keine Kopie überliefert; nach Angaben *al-Masudis* dürfte sie aber der Projektion des *Marinos von Tyros* gefolgt sein. In weiterer Folge sind neue Projektionsarten entwickelt worden, *al-Biruni* gibt allein acht verschiedene

257S. dazu Kennedy, *Mathematical Geography in EAHS I* 185-201.

Varianten an, darunter auch eine stereographische Projektion einer Hemisphäre von einem am Äquator gegenüberliegenden Punkt aus. Die berühmte Karte *al-Idrisis* (s.w.u.) ist projektionstechnisch nicht nachvollziehbar.

Unter dem Einfluß der vor allem handelsbedingten weitreichenden Seefahrt der Muslime im Indischen Ozean von der Ostküste Afrikas weg, aber auch in den Gewässern hin bis China entwickelte sich eine hochstehende nautische Technik samt dem dazugehörigen Schrifttum²⁵⁸. Muslimische Lotsen haben auch die ersten portugiesischen Schiffe nach Kalkutta geleitet. Die Navigation wurde, den erhaltenen nautischen Anleitungen zufolge, wesentlich mit Hilfe von Fixsterndreiecken bewerkstelligt. Die Verwendung des Kompass²⁵⁹ ist zumindest für das 15. Jh gesichert, daneben existierten andere aus der Praxis entwickelte Instrumente zur Visierung vor allem von Gestirnen. Auch wurden aus der Praxis heraus Karten mit Navigationsanweisungen entwickelt.

Hinsichtlich der Länderkunde²⁵⁹ wirkten sich positiv aus: die enorme Reistätigkeit in den islamischen Ländern in Zusammenhang mit der Hadsch (der Pilgerfahrt nach Mekka) und die Notwendigkeit der Erwerbung geographischer Kenntnisse zur Erhaltung der politischen Herrschaft in den weiten Räumen des arabisch-muslimischen Einflussbereiches²⁶⁰. aus, weiters der arabische Handel²⁶¹, etwa zur See bis in den indonesischen Raum, vielleicht auch mit China²⁶², möglicherweise kannte man sogar Australien – sicherlich ist nicht alles, was die Seeleute „erfahren“ haben, in die Darstellungen eingebracht worden und Vieles konnte wohl auch nicht richtig gewürdigt werden – wie etwa die Information, dass der Indische Ozean nach dem Süden hin grenzenlos sei; manche Reiseerlebnisse begegnen uns in sagenhafter Form in "1001 Nacht" und ähnlichen Quellen. So erstreckte sich der *Kenntnisbereich* der muslimischen „Geographie“ von Ostasien²⁶³ über Sibirien und Zentralasien bis an den Atlantik, vom Eismeer bis Madagaskar²⁶⁴, den Sudan und bis zum Niger. – Die frühen *länderkundlichen Werke* sind dem entsprechend gewissermaßen Reiseführer. An Beispielen seien hervorgehoben:

Ibn Khurdadhbih (fl. 850)

Ibn Khurdadhbih verfasste um 846 das

258S. dazu Henri Grosset-Grange, Arabic nautical science. In: EAHS I 202-242.

259Hiezu s. André Miquel, Geography. In: EHAS III 796-812.

260Dieser war ja erheblich größer als das römische Imperium.

261In diesem Zusammenhang ist wohl auch die umfangreiche Reiseliteratur über China, Indien, Ceylon, Afrika, Armenien zu sehen.

262Der Reisende *Suleiman* (fl. 840) gab einen besonders frühen Bericht über China.

263Vom Kaufmann *Suleiman* stammt, um 840, ein allerdings nicht von ihm verfaßter Bericht über China – er ist der älteste, mehr als 400 Jahre vor *Marco Polo*.

264Die Mondinsel in 1001 Nacht, wo der Vogel Rock wohnen sollte – möglicherweise ein Hinweis auf die Dronte auf Mauritius.

- Kitab al-masalik wa-l-mamalik – das Buch der Straßen und Königreiche. Dieses Werk eröffnet gewissermaßen eine Reihe von z.T. sehr umfangreichen und immer wieder auch mit phantastischen Einlagen durchsetzten enzyklopädischen Länderbeschreibungen, die letztlich doch sehr wertvolle Quellen zur Landes- und Kulturgeschichte weitere Bereiche Osteuropas wie des vorderen und mittleren Ostens bieten und den Horizont der muslimischen Welt erkennen lassen.

Abu-l-Qasim (825-912)

Verfasste das „Buch der Straßen und Länder“, das eine der wichtigsten Quellen zur frühen Geographie der islamischen Gebiete ist.

Abu l-Hasan Ali ibn al-Husayn ibn Ali al-Masudi, 895 Bagdad – 956/57 Kairo,

al-Masudi ist einer der großen „Geographen“ der Muslime, er soll ab 915 von Bagdad aus nahezu alle Länder hin bis Indien und Ceylon (nicht aber Indonesien und China) und auch Ostafrika bereist haben. Auf Grund seiner umfassenden, bewusst in Autopsie erworbenen Kenntnisse verfasste er seine

- Achbar al Zaman = Nachrichten der Zeit = 30bändige Enzyklopädie der Weltgeschichte und Erd- und Völkerkunde heraus. Sie enthält wichtige Details: Beschreibung des Erdbebens von 955, des Wassers des Toten Meeres, erste Erwähnung von Windmühlen (in Asien), geologische Überlegungen., von der jedoch nur mehr das erste Buch erhalten ist. Eine Handschrift liegt in der Österreichischen Nationalbibliothek, eine zweite in Berlin.; er auch einen kürzeren Abriss herausgab – die "Goldenen Wiesen und die Minen kostbarer Steine". *al-Masudi* wurde mit Herodot und Plinius d. Ä. verglichen. Bei ihm finden sich zahlreiche historisch, kulturhistorisch und geographisch interessante Äußerungen: u.a. die früheste Erwähnung von Windmühlen, die Beschreibung des Wassers im Toten Meer, von Erdbeben etc. Er vertrat evolutionäre Gedanken – die Pflanzen hätten sich aus den Mineralien, die Tiere aus den Pflanzen und der Mensch aus den Tieren entwickelt; Vorstellungen, die mit dem Islam nicht vereinbar waren. Die Geographie war ihm eine Vorbedingung für die Historie. *al-Masudi* war ein kritischer säkularer Geist.

Im 10. Jh arbeitete eine Gruppe von Kartographen bzw. Geographen, die jeweils für sich etwa 20 Karten schufen, die allerdings streng standardisiert waren und in der Forschung zusammenfassend als „**Atlas des Islam**“ bezeichnet werden.

Ibrahim ibn Yaqub al-Israili al-Turtushi = Abraham Ben Jacob († Ende 10. Jh)

Ibn Yaqub war ein jüdischer Kaufmann aus Tortosa, der geschäftlich (und vielleicht auch in diplomatischer Mission) weite Reisen durch ganz Europa unternahm; u.a. besuchte Otto I. in Magdeburg,

berichtet über die Westslawen und über die Juden im Reich. Von seinen Schriften sind allerdings nur Fragmente erhalten; was erhalten ist, ist von großem Wert.

Im 11. und 13. Jh bewirken der Einfall der Türken und dann der Mongolen erhebliche Veränderungen hinsichtlich des in die Länderkunde einzubeziehenden Bereiches.

Sehr weit gereist war auch der am Hofe des Normannenkönigs Roger lebende und sehr bedeutende

*Abu Abdallah Muhammad ibn Muhammad ibn Abd Allah al-Sherif al-Idrisi, lat.
Dreses (1100-1166)*

al-Idrisi stammte aus dem Maghreb und wurde 1138 an den Hof Rogers II. in Sizilien gerufen, wo er bis zu dessen Tod 1154 lebte. Roger beauftragte ihn, ein Werk zur Geographie zu verfassen, das *al-Idrisi* in Zusammenarbeit mit christlichen Gelehrten und wesentlich auf der Grundlage muslimischer Geographen nach fünfzehnjähriger Arbeit in Palermo 1154 vollendete²⁶⁷. *al-Idrisi* war in Hinblick auf Trigonometrie und kartographische Technik offenbar eher unerfahren, die von ihm verwendete Projektstechnik lässt sich nicht festmachen²⁶⁸. Seine Weltkarte für Roger, das

– *Kitab nuzhat al-mushtaq fi ikhtiraq al-afaq*, Reise des Sehnsüchtigen, um die Horizonte zu durchqueren – so der Titel der Einleitung zur Weltkarte Edition durch das Istituto Italiano per il Medio e l'Estremo Oriente at Rome unter der Mitwirkung mehrerer Wissenschaftler vor: *Opus Geographicum sive liber ad eorum delectationem qui terras peragrarare studeant.* (Hrsg. F. Cerulli, G. Gabrieli, Lévi Della Vida u.a.). Neapel, Rom 1970ff., die aus einer Generalkarte und aus 70 rechteckigen Detailkarten bestand, die sich in sieben horizontalen Reihe zu je 10 Karten zu einem Ganzen zusammenfügen lassen – dieses Werk, das die in Europa und bei den Muslimen bekannten Regionen in unterschiedlicher Genauigkeit wiedergab, allerdings ohne Verwendung der Koordinaten, war prägend für die Folgezeit. Die Beschreibungen zu den Karten verzeichnen nicht nur geographische, sondern auch demographische, soziökonomische und politische Details. *al-Idrisi* zeichnet auch die sieben Klimazonen ein, in die er die Erde gliederte; eine Übersichtsdarstellung wurde in eine Silberplatte eingraviert. Das Werk diente lange auch als Lehrbuch und wurde in zahlreichen Versionen verbreitet. S. <http://classes.bnf.fr/idrisi/explo/index.htm>

*Shibab al-Din Abu Abdallah Yaqut ibn Abd Allah Yaqut al-Hamawi al-Rumi,
1179-1229*

²⁶⁷ Ausgabe durch Jaubert, 2 Bde Paris 1836-40

²⁶⁸ Dazu Kennedy, *Mathematical Geography*, in: *EAHS I* 185-201, 199f.

Yaqut, ein freigelassener Sklave vermutlich griechischer Herkunft, durchwanderte lange Zeit den gesamten Vorderen Orient zwischen Transoxanien (von wo er vor den Mongolen flüchten musste, was seine Darstellung der Tataren und Türken prägte²⁷⁰) und Ägypten. Von seinen zahlreichen Werken sind nur mehr vier vorhanden. Neben einer riesigen Biographischen Enzyklopädie über Gelehrte verfasste er die alphabetisch gegliederte geographische Enzyklopädie

– *Mu'jam al-buldan*, eines der wichtigsten Werke arabischer Literatur – ein Warenhaus der Informationen (Sarton), mit groß angelegter allgemeiner Einleitung. Es gilt als die größte geographische Leistung des Mittelalters. Nicht nur Geographie, sondern auch Geschichte, Ethnographie, mathematische, physikalische und politische Geographie, mit geographischen Koordinaten der Orte, biographischen Notizen etc. Der Text wurde in 6 Bänden 1866-1873 in Leipzig von Heinrich Ferdinand. Wüstenfeld als „*Jacuts geographisches Wörterbuch*“ herausgegeben.

Abu Abdallah Mohammed Ibn Battuta (1304 – 1368)

Ibn Battuta, ein Marokkaner, war der vermutlich „größte“ Reisende im muslimischen Bereich; er brach am 14. Juni 1325 zu seiner Pilgerfahrt nach Mekka auf und kehrte im November 1349 zurück – er hatte mittlerweile Ägypten, Syrien, Persien, Mesopotamien, Arabien, Ostafrika, Kleinasien, Krim, Südrussland, Buchara, Chorasán, Afghanistan, Indien, Ceylon, die Sunda-Inseln und China bereist und war von dort über Persien und Arabien und das Mittelmeer zurückgekehrt. Eine zweite Reise führte ihn u.a. bis Timbuktu. Seine Gesamtreisestrecke ist mit etwa 120.000 km berechnet worden. Viele seiner Angaben zeitlicher Natur über seine Reisebewegungen wie auch inhaltlicher sind zweifellos fragwürdig bzw. eindeutig erfunden. Gleichwohl und auch wenn *Ibn Battuta* keineswegs ein Gelehrter war, ist sein auf Befehl seines Sultans einem Dichter diktiert – **Rihla**, Reisen, betitelter – Bericht von unschätzbarem Wert für unsere Kenntnis der Völker dieser Zeit, *Ibn Battuta* ist der einzige Autor des Mittelalters, der aus eigener Anschauung über Teile Schwarzafrikas berichtet. – Sein Bericht ist 1853-58 in 4 Bdn in Paris erschienen.

In der physikalischen Geographie haben die Araber sich mit **Flut und Ebbe** wie dem **Wasserkreislauf** beschäftigt, sie haben den für die Vegetation so wichtigen **Monsun** erkannt und benannt.

²⁷⁰Das liest sich dann so: „*Gog und Magog sind 21 Stämme, unter denen die Türken einer sind... einer von ihnen (den Türken) ist nur halb so groß wie ein Mann von mittlerer Statur. Sie haben Krallen anstelle der Nägel, Backenzähne und Eckzähne gleich Löwen, Mäuler wie die Kamele, ihre Körper sind ganz von Haaren bedeckt. Jeder hat zwei große Ohren, eines davon außen mit Haaren bewachsen und innen kahl und das andere innen behaart und außen kahl; in das eine hüllt er sich ein, und das andere breitet er aus... Sie rufen einander zu wie die Tauben, heulen wie die Hunde und bespringen einander, wo immer sie sich begegnen, wie das Vieh... sie sterben nämlich erst, wenn sie tausend Kinder gezeugt und geboren haben.*“ – nach wikipedia; s. auch hier und hier und DSB.

5.1.9 Geologie

ist die Wissenschaft von der Geschichte der Erde²⁷¹, 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 da sind, um die Adern und Eingeweide der Erde fester miteinander zu verbinden und um die zügellosen Massen des Wassers in Schranken zu halten, hat

Abu Ali al/Hussein ibn Abdallah Ibn Sina

um 1025 in seinem Werk

- Über das Gerinnen und Festwerden der Gesteine, das übrigens bis in unsere Zeit dem Aristoteles zugeschrieben worden ist, im Kapitel "Über die Entstehung der Gebirge" Naturbeobachtung mit Phantasie vermennt, wobei sogar der Phantasie insofern Bedeutung zukommt, als der von Ibn Sina postulierte innere Luftraum sowie unterirdische Winde die ersten Mutmaßungen über endogenen Kräfte sind. Der Luftstrom im Erdinneren erzeugt bei Ibn Sina die Berge, wobei Erdbeben eine gewisse Rolle spielen, die natürlich auch durch den inneren Luftstrom ausgelöst werden. – Ibn Sina hat Tropfsteine beobachtet und diesen Prozess gemeinsam mit der Sedimentierung für die Entstehung des Gesteins verantwortlich gemacht. Ibn Sina kommt auch auf die exogenen Kräfte – vor allem auf die Erosion durch Wasser und Wind – zu sprechen und erkennt in gewisser Hinsicht bereits das Wechselspiel dieser Kräfte und den Kreislauf der Materie auf der Erde. Es ist ihm aber auch klar, dass sich die Prozesse über sehr große Zeiträume hin erstrecken. Im Bereich der Geologie hat Ibn Sina dem Wasser die primäre Bedeutung vor Wind und Erdbeben bei der Entstehung der Gebirge zugeschrieben.

al Biruni +1048

al-Biruni hat im Rahmen seiner Geschichte Indiens eine geologische Theorie des Indus-Beckens zu geben versucht.

5.1.10 Enzyklopädisten

²⁷¹Das Wort ist erstmals von Mickel Pederson *Escholt* in "Geologie Norwegica" 1657 verwendet worden.

Wie bereits verschiedentlich erwähnt, entstanden im muslimischen Bereich außerordentlich umfangreiche Werke enzyklopädischen Charakters; mitunter auch alphabetisch angelegt. Als ein bedeutendes Beispiel sei der persische Jurist und Richter

Zakâriyya ibn Muhammad ibn Mahmud al-Qazwini, 1203-1283,

genannt, der auch als muslimischer *Plinius d. Ä.* bezeichnet worden ist. *al-Qazwîni* verfasste zwei riesige Enzyklopädien

- *Aja'ib al-makluqat wa-ghara'ib al-mawjudat*, Wunder der Schöpfung, eine Kosmographie, die reich illustriert in persischer und türkischer Sprache bis heute verbreitet ist
- *Athar al-bilad wa-akhbar al-'ibad*, Darstellung der Städte und der Geschichte der Diener Gottes, eine geographische Enzyklopädie,

beide Werke zeugen von intensivem Literaturstudium, fanden enorme Verbreitung und bestimmten so maßgeblich die Bildung des Nichtspezialisten, des islamischen Intellektuellen auf lange Zeit hinaus.

5.1.11 Zusammenfassung

Die Wissenschaftsentwicklung im arabischen bzw. im muslimischen Bereich (der ja bald eine Vielzahl von Völkerschaften umfasst, unter denen in wissenschaftlicher Hinsicht in späterer Zeit vor allem die Perser eine wichtige Rolle einnehmen) ist geprägt von der Übernahme der wissenschaftlichen Erkenntnisse der Griechischen sowie – in der Mathematik und vermutlich auch in der Medizin – aus dem indischen Raum. Der Prozess der Übernahme aus der griechisch-hellenistischen Welt war um 1000 weitgehend vollzogen und es schloss sich eine Phase einer offenbar auf breiterer Basis erfolgenden fruchtbaren Weiterentwicklung an, die bisweilen als das goldene Jahrhundert bezeichnet wird. Wesentliches Element in diesem Prozess war – und dies gilt auch für die nachfolgende Zeit – die Förderung durch Herrscher, die sich mit Gelehrten umgaben und für die entsprechenden Einrichtungen, überhaupt für die Finanzierung von wissenschaftlicher Tätigkeit sorgten – unter dem Aspekt, dass dadurch immer wieder neue Anfänge gesetzt wurden, mag sich der Wechsel herrschender Dynastien mitunter als ein fördernder Faktor ausgewirkt haben. Auch wenn sich immer wieder einzelne Individuen eine Existenz als Gelehrte zu leisten vermochten, so bedurften sie letztlich doch des Anschlusses an andere, den sie in der Regel nur in den erwähnten Zentren an den Höfen fanden – in Bagdad, in Maragha, in Rayy, in Sarmakand, in Kairo und auch in Cordoba.

Von einer Marginalisierung von Wissenschaft, wie sie verschiedentlich vertreten worden ist, kann angesichts des hohen Niveaus und der nach dem Museion in Alexandria für die damalige Zeit einzigartigen Konzentrierung von Wissenschaftler in Zentren wie Maragha und Sarmakand wohl nicht gesprochen werden. Für die Stabilisierung derartiger Zentren fehlte es im muslimischen Raum

allerdings an einem strukturierten weltlichen Bildungswesen mit einem weltlichen Ausbildungskanon (wie ihn etwa die *septem artes* darstellten), das den dafür erforderlichen „Unterbau“, eine dauerhaft organisierte Grundlage geboten hätte für eine säkulare Entwicklung jenseits der Munifizienz von herrschenden Individuen. Dass das im Bereich der Theologie angesiedelte Schulwesen über die individuellen Bemühungen hinaus letztlich die wissenschaftliche Arbeit nicht integrierte, bewirkte neben der schließlich erfolgten Zurückweisung des rationalen Elements durch die orthodoxe Lehre, etwa durch *al-Ghazali*, dass das wissenschaftliche Leben im 13. Jh sich auf wenige Zentren und auf herausragende, dort wirkende Köpfe zu beschränken begann und im 14. Jh letztlich überhaupt mehr oder weniger zum Erliegen kam. Wenn sich an den Zentren auch Ansätze zur Schulebildung entwickelt zu haben scheinen (man denke an *al-Tusi*), so kam es letztlich doch nicht dazu, weil keine konkreten Lehraufgaben bestanden und eben kein Kontakt zu den elementaren Ausbildungsstätten (die theologisch orientiert waren und blieben) und überhaupt kein durchgeformtes Ausbildungssystem entwickelt wurde.

Gleichzeitig setzte im christlichen Abendland, wo im 12. Jh der Rezipierungsprozess sowohl hinsichtlich des klassischen Altertums wie auch der Muslime langsam einsetzte, um im 13. Jh enorme Dimension anzunehmen, eine gegenläufige Entwicklung ein, indem innerhalb der Theologie das rationale Verfahren im Sinne des Aristotelismus auf der Grundlage der Vernunft als einer Gottesgabe akzeptiert und damit der Weg geebnet wurde für die Säkularisierung der in den *septem artes* präfigurierten Wissenschaft insbesondere im 14. Jh.