

Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Städtischen Realgymnasiums
zu Charlottenburg. Ostern 1902.

Die Entwicklung des physikalischen Unterrichts an unseren höheren Schulen.

(Teil I.)

Von
Franz Pahl.



Charlottenburg.

Druck von Adolf Gertz.
1902.

1902. Programm Nr. 112a.

9ch
7 (1902)

112a.b.

Die Entwicklung des physikalischen Unterrichts
an unseren höheren Schulen

Die Entwicklung des physikalischen Unterrichts an unseren höheren Schulen

1897



Wer der allmählichen Entstehung des Lehrgebiets unserer höheren Schulen nachspürt, begegnet in den Schulprogrammen unter dem Verzeichnis der Lehrgegenstände dem Namen Physik erst unmittelbar vor dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts. Diese Tatsache berechtigt jedoch nicht zu dem Schluss, dass in dem Vierteljahrtausend, von dem Zeitalter der Reformation, mit dem wir doch nach Professor Paulsen die Geschichte unseres höheren Schulwesens zu beginnen haben, bis zu dem erwähnten Zeitpunkt, den Schülern der höheren Lehranstalten keine physikalischen Kenntnisse übermittelt worden wären. In dem achtzehnten Jahrhundert finden wir diesen Zweig des menschlichen Wissens teils als „Naturlehre“, teils unter der allgemeineren Bezeichnung „Naturwissenschaften“ wieder, die infolge der kräftigen Bewegung zu Gunsten der Realien damals in den Lehrplan der höheren Schulen Eingang fanden. Aber auch bei denjenigen Anstalten, die diesen Neuerungen gegenüber sich ablehnend verhielten, wurden Abschnitte aus der Physik in den mathematischen Lehrstunden als angewandte Mathematik behandelt. Unter dieser Form können wir unsern Lehrgegenstand bis in die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts zurück verfolgen. In der Zeit vor dem dreissigjährigen Kriege sowie in der eigentlichen Gründungsperiode der ersten höheren Schulen verschwinden die Spuren dieses Unterrichtszweiges gänzlich. Hiermit sind die Hauptstadien in der Entwicklungsgeschichte des physikalischen Unterrichts kurz gekennzeichnet. Die genaue Darstellung dieser Entwicklung hat den Zusammenhang ihrer Phasen mit dem jeweiligen Zustande der physikalischen Forschung und mit der Bedeutung, welche diese Wissenschaft für das Kulturleben gewonnen hat, aufzudecken, den Einfluss der jede Zeitperiode beherrschenden Geistesrichtung festzustellen und an der Hand der uns erhaltenen Lehrbücher und Nachrichten Umfang, Inhalt und Methode des physikalischen Unterrichts in den einzelnen Zeitabschnitten zu prüfen.

I.

Als im Zeitalter der Reformation der Grundstock zu unseren höheren Schulen gelegt wurde, befand sich die physikalische Forschung noch in demselben Zustande, in dem die Alten sie gelassen hatten. Das ganze Mittelalter hindurch bis in das sechzehnte Jahrhundert hinein, beherrschte Aristoteles die Lehrstühle der Universitäten, ja das gesamte wissenschaftliche Leben, und so blieben seine Anschauungen auch für die Physik massgebend, die ja erst durch ihn in die Zahl der Wissenschaften eingereiht worden war und ihm auch ihren Namen verdankt.¹⁾ Wohl hatten sich schon einige Männer gegen seine jede selbständige, neue Ansicht erdrückende Autorität aufgelehnt, wohl gab es schon einige Forscher, die man als die Vorboten der neuen Aera in der Physik ansehen kann,²⁾ allein auch diese hatten sich noch nicht völlig von der echt griechischen Anschauungsweise des Aristoteles losmachen können, dass jedem Körper vermöge seiner Natur gewisse geistige Kräfte innewohnen, die als die wirkenden Ursachen der Vorgänge in der uns umgebenden Erscheinungswelt anzusehen sind. Obgleich eine solche Auffassung, nach der physikalische Erscheinungen auf metaphysische Kräfte, d. h. auf Ursachen, die gänzlich ausserhalb der körperlichen Welt liegen, zurückzuführen sind, jeder physikalischen Erkenntnis im Grunde genommen feindlich gegenübersteht, ist doch der Umfang der physikalischen Kenntnisse, die unter der Herrschaft dieser Anschauung bis zur Zeit Luthers und Melanchthons gewonnen waren, nicht unbeträchtlich.

In der Mechanik huldigte man zwar noch der Lehre des Aristoteles von den absolut schweren und den absolut leichten Körpern und war noch in seiner Anschauung befangen, dass die Bewegung nach unten oder oben eine den Körpern natürliche Eigenschaft sei. Wohl hatte der grosse Stagirite den Fall als eine beschleunigte Bewegung erkannt, doch war seine Behauptung, dass schwerere Körper schneller fallen als leichtere noch nicht widerlegt, ebenso wenig seine in der Geschichte der Physik so berühmte Lehre von dem horror vacui der Natur. Dass die Luft der Bewegung eines Körpers Widerstand entgegensetzt, war dem Begründer der Physik der Alten nicht verborgen geblieben, dennoch konnte er sich die Weiterbewegung eines geworfenen Körpers nur dadurch erklären, dass die Luft sich hinter ihm wieder zusammenschliesst und ihm so einen neuen Stoss erteilt. Dagegen hatte er das Hebelgesetz richtig erkannt und zur Erklärung der schon den alten Ägyptern bekannten Wage sowie des Keiles herangezogen. Archimedes (287—212 v. Chr.) hatte dann auf gewissen allgemeinen Grundsätzen und einer Anzahl von erfahrungsmässig gewonnenen Sätzen fussend die Lehre „vom Gleichgewichte der Ebenen und den Schwerpunkten derselben“ und im Anschluss daran das Hebelproblem vollständig entwickelt und in wissenschaftlicher, mathematischer Weise behandelt. Durch ihn hatte die Physik des Altertums, die bei Aristoteles mehr eine Naturphilosophie gewesen war, die Wendung zu einer mathematischen Physik genommen. Auch über die Mechanik der Flüssigkeiten waren von ihm mehrere wichtige Sätze auf dem Wege der Erfahrung gewonnen worden; deren einer ja noch unter seinem Namen in den Lehr-

büchern lebt. Er hatte schon erkannt, dass die Oberfläche jeder Flüssigkeit im Zustande der Ruhe sphärisch ist und der Mittelpunkt ihrer Fläche mit dem der Erde zusammenfällt. Ebenso war er sich über die Grösse, den Angriffspunkt und die Richtung des Auftriebs klar geworden. Zur Aufstellung der Begriffe „spezifisches Gewicht“ und „Metacentrum“ war er jedoch noch nicht gelangt, so unmittelbar sie sich auch aus den von ihm gefundenen Gesetzen ergeben. Von den vierzig ihm zugeschriebenen Erfindungen haben der Flaschenzug, die Schraube ohne Ende und die archimedische Schnecke eine dauernde Stätte in unsern Lehrbüchern der Physik gefunden. Die einfache Rolle war schon von den alten Ägyptern angewendet und durch sie den Griechen bekannt geworden. Die alexandrinischen Physiker Ktesibios (200 v. Chr.) und seine Schüler Heron und Philon³⁾ hatten die Arbeiten des Archimedes über die Mechanik fester und flüssiger Körper fortgesetzt und ihre Versuche auf das Gebiet luftförmiger Körper ausgedehnt. Waren kleine Saugpumpen schon zu Aristoteles Zeiten nicht unbekannt gewesen, so erfand Ktesibios die Druckpumpe und eine Art Feuerspritze, der jedoch der Windkessel fehlte,⁴⁾ ebenso wie seine berühmte Wasserorgel noch keinen Windkessel in unserm Sinne des Wortes besass. Heron, dessen Name noch im Heronsball fortlebt, hatte sich namentlich der Verwendung des schon den alten Ägyptern bekannten Hebbers zu vielen Apparaten und Spielereien zugewendet; zur Erklärung bediente er sich, wie auch Philon, der Lehre vom horror vacui. Dass er den Rückstoss ausströmenden Wassers oder Dampfes kannte, beweist seine Aeolipile. Auch das Wellrad war um jene Zeit schon bekannt, wie Philon's Verwendung desselben zu einem Rammbar zeigt. Überhaupt war man um die Zeit jener drei alexandrinischen Physiker in der technischen Verwendung der als richtig erkannten mechanischen Gesetze ziemlich weit vorgeschritten: die mannigfachen Kriegsmaschinen, Katapulte und Ballisten, der Gebrauch der Wasserwaage, der zur Herstellung einer Ebene dienende Chorobates,⁵⁾ die Anwendung der Schraube ohne Ende zu Zählwerken, die zum Messen des von Wagen zurückgelegten Weges dienen, wie z. B. beim Hodometer⁶⁾, legen hiervon Zeugnis ab. In dem langen Zeitraum der römischen Kaiserzeit waren die mechanischen Kenntnisse nur wenig erweitert worden. Der Bau von Aquädukten und die Anlage von Wasserleitungen hatte die Aufmerksamkeit auf die Erscheinungen beim Ausströmen des Wassers hingelenkt, und Frontinus⁷⁾ (40—103 n. Chr.) war schon zu der Erkenntnis gelangt, dass die Menge des ausfliessenden Wassers abhängig von der Entfernung ist, in der die Ausflussöffnung unter dem Wasserspiegel liegt. Dass während des Unterganges der alten Kultur die Fortschritte auf dem Gebiet der Physik nicht gänzlich stockten, beweist die römische Schnellwaage und die Erfindung des Aräometers, von Synesios Baryllium genannt⁸⁾, das zu medizinischen Zwecken und zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes diente. Auch Archimedes Arbeiten über Schwerpunktbestimmung hatten ihre Fortsetzung gefunden. Pappus (390 n. Chr.) wusste den Schwerpunkt von Rotationskörpern zu bestimmen und, die von ihm angewandte Methode ist keine andere als die später nach Guldin benannte Regel. In den „mathematischen Sammlungen“ desselben alexandrinischen Mathematikers begegnen wir zum ersten Male einer zusammenhängenden Darstellung der „fünf mechanischen Potenzen“ „Hebel, Keil, Schraube, Rolle und Wellrad“ und finden im Anschluss daran den Flaschenzug abgebildet.⁹⁾

Die Araber, denen in erster Linie die Aufgabe zufiel, die Wissensschätze des Altertums dem Mittelalter zu überliefern, hatten in der Mechanik nicht viel Neues geleistet. Die berühmte „Wage der Weisheit“ Alkhazinis (1137)¹⁰⁾ war nur ein empfindlicheres Werkzeug zu genauer Gewichtsbestimmung und Ermittlung spezifischer Gewichte. Für Flüssigkeiten diente ihnen zu letzterem Zweck das Aräometer, doch verdienen ihre Bestimmungen das Lob ziemlich grosser Genauigkeit. Auch hatte Al Biruni schon eine Art Pyknometer konstruiert.¹¹⁾

Während das christliche Abendland im allgemeinen auf dem Standpunkt des Aristoteles stehen blieb, hatte doch Nemorarius (um 1200)¹²⁾ schon mit Glück das Problem der schiefen Ebene, an dem Pappus gescheitert war, auf dynamischem Wege zu lösen gesucht. Bei ihm finden sich auch die ersten Spuren des Momentbegriffs. Von grosser Bedeutung für die Entwicklung der Mechanik wurde die Erfindung der Räderuhren, die zuerst 1232 auftauchten und schon ein Jahrhundert später eine grosse Vollkommenheit besaßen.¹³⁾ Leonardo da Vinci (1452—1519) endlich hatte erkannt, dass der eigentliche „Interpret der Wunderwerke der Natur“ die Erfahrung sei, und so zuerst mit vollem Nachdruck auf den richtigen Weg der physikalischen Forschung hingewiesen. Er war zu richtigen Vorstellungen über die Grundbegriffe der Mechanik, Kraft und Bewegung, gelangt und hatte vor allen Dingen mit der aristotelischen Anschauung gebrochen, dass die Bewegung eine natürliche Eigenschaft der Körper sei. Obwohl er noch in dem Irrtum befangen blieb, dass schwerere Körper schneller fallen als leichtere, hinderte ihn dies nicht, bei seinem Versuchen über den Fall die Thatsache festzustellen, dass ein fallender Körper östlich von der Vertikallinie den Erdboden erreicht. In seinen Untersuchungen über das Hebelgesetz und die Gleichgewichtsbedingungen bei der schiefen Ebene finden wir den Begriff des statischen Momentes festgestellt, ja sogar die ersten Anfänge des Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten. Obwohl er ein Zeitgenosse der grossen Reformatoren war, blieben seine Entdeckungen auf mechanischem Gebiet ohne Einfluss, ja bis zum Ende des 18. Jahrhunderts gänzlich unbekannt.¹⁴⁾

In der Akustik hatten schon die Pythagoräer die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der Saite festgestellt und behufs Untersuchung dieser Abhängigkeit sich des Monochords bedient, das man daher wohl als den ältesten physikalischen Apparat bezeichnet hat. Aristoteles hatte den Irrtum beseitigt, nach welchem ein Ton dadurch entstehen sollte, dass der Luft eine gewisse Form eingedrückt werde. Obwohl er die Entstehung des Tones ganz richtig darauf zurückführte, dass die Luft in angemessener Weise in Bewegung gesetzt werde, machte er die Vorstellung über die Vorgänge beim Schall doch durch den Zusatz wieder unklar und verworren, dass die Luft selbst schalllos sei wegen der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen. Die Erscheinung des Echos war dagegen vollständig richtig von ihm erklärt worden, auch über die Verbreitung des Schalles hatte er ziemlich richtige Anschauungen. Ebenso kannte er die Abhängigkeit der Tonhöhe einer Pfeife von ihrer Länge.

Nach Aristoteles hatte man sich mehr der Harmonieenlehre, der eigentlichen Musik zugewendet, wie des Euklides „Harmonik“, die „*harmonicorum libri tres*“ des Ptolemäos, die „fünf Bücher über Musik“ von Boëthius (481—524) beweisen. War man auch, wie aus den Schriften des letztgenannten¹⁵⁾ hervorgeht, zu einer klaren, richtigen Vorstellung über die Verbreitung der Schallwellen in der Luft gelangt, sowie über die Abnahme der Schallintensität mit der Entfernung, so blieb man doch im christlichen Mittelalter auf dieser Stufe akustischer Erkenntnis stehen, und liess sich namentlich die Entwicklung der Musik angelegen sein; Guido von Arezzo † 1050 bildete das Liniensystem zur Bezeichnung der Tonhöhe aus und gab den Tönen die Namen *ut, re, mi, fa, sol, la*, denen man später noch *si* hinzufügte; im 13. Jahrhundert erfolgte die Ausbildung des Contrapunktes durch Franco v. Cöln, und Jean de Meurs (1310—1360) fügte den Noten die Köpfe hinzu, um die Dauer zu bezeichnen.¹⁶⁾ Zu so hoher Blüte man auch schon die Musik brachte, so hatte doch die eigentliche Akustik dadurch keine Förderung erfahren.

In der Optik war schon durch Aristoteles die Ansicht des Empedokles widerlegt worden, dass die Lichtstrahlen, vermöge deren man die Gegenstände erkennt, vom Auge ausgehen, allein Euklides¹⁷⁾ war zu jener Anschauung zurückgekehrt. Dafür war dieser

durch Beobachtung und Erfahrung zur Aufstellung des Reflexionsgesetzes gelangt sind hatte damit ein Mittel gefunden, die Wirkungsweise der seit alten Zeiten bekannten Spiegel mathematisch zu behandeln. Die Gesetze der ebenen Spiegel, Winkelspiegel, der sphärischen und der parabolischen Spiegel waren durch ihn wie durch Heron auf mathematische Weise abgeleitet worden, jedoch zieht sich von ihnen aus durch das ganze Mittelalter der Irrtum hindurch, dass der Brennpunkt eines kugelförmigen Hohlspiegels in seinem Mittelpunkte liegt. Schwieriger als die Erforschung der Katoptrik war das Eindringen in die Dioptrik. Ptolemaios¹⁸⁾ hatte die ersten Versuche angestellt, den Weg eines Lichtstrahls festzustellen, der durch zwei verschiedene durchsichtige Mittel hindurchgeht, und hatte zu einem gegebenen Einfallswinkel von 10 zu 10 Grad den jedesmaligen Brechungswinkel für Luft und Wasser, Luft und Glas, Glas und Wasser bestimmt. Seine Versuche waren von den Arabern, namentlich von Al Hazen († 1038)¹⁹⁾ und von dem polnischen Mönche Witelo (um 1270) wiederholt worden.²⁰⁾ Reichten diese Versuche auch nicht aus, um das Brechungsgesetz zu entdecken, so halfen sie doch die Wirkungsweise der schon vor Aristoteles bekannten Brenngläser sowie der von Seneca (2—66 n. Chr.) beobachteten vergrößernden Wirkung einer Glaskugel verstehen. Gegen Ausgang des dreizehnten Jahrhunderts war dann der Florentiner Salvino degli Armati (1285) zu der Erfindung der Brillen gelangt,²¹⁾ die man in Lederlappen fasste, um diese an der Mütze zu befestigen und so vor den Augen herabhängen zu lassen. Um ungefähr dieselbe Zeit war auch der Regenbogen, den Aristoteles als ein Bild der Sonne in den dunkeln Wolken bezeichnet hatte und der allgemein als eine Spiegelungserscheinung galt, von dem Araber Al Farisi²²⁾ und etwas später von dem Predigermönche Theoderich²³⁾ (um 1311) in richtiger Weise als eine Brechungserscheinung erklärt worden. Da aber die Schriften dieser Männer fast ein halbes Jahrtausend unbekannt blieben, so hatten sie auf den Fortschritt in der Optik keinen Einfluss und noch Maurolykus²⁴⁾ (1494—1575) erklärte den Regenbogen als durch siebenmalige Reflexion der Sonnenstrahlen entstanden.

Da nach Aristoteles die Wärme eine elementare Eigenschaft sein sollte, die dem Feuer absolut, allen andern Körpern in gewissem Masse zukomme, so waren die Vorstellungen über dieselbe und ihren Einfluss auf den Aggregatzustand sehr unklare geblieben. Nur die Relativität des Begriffes warm hatte der griechische Philosoph richtig erkannt; Versuche, um über die Wirkungen der Wärme ins Klare zu kommen, hatte er nicht gemacht, dagegen versuchte Philon die Einwirkung der Wärme auf Luft durch einen Apparat zu prüfen, den man eine Art Thermoskop nennen könnte.²⁵⁾ Im übrigen war man in den fast zwei Jahrtausenden von Aristoteles bis zum Beginne der Neuzeit nicht einmal über die ausdehnende Wirkung der Wärme ins Klare gelangt.

Auch in der Elektrizität war man über die Kenntnis der anziehenden Wirkung geriebenen Bernsteins auf leichte Körper nicht hinausgekommen. Hinsichtlich des Magnetismus kannte man die Anziehung, die ein natürlicher Magnetstein auf Eisen ausübt; auch hatte Geber²⁶⁾ (um 800) festgestellt, dass die Grösse dieser Anziehungskraft nicht von dem Gewichte des Magneten abhängig sei. Die Verwendung eines auf einem Holzgestell frei schwimmenden Magneten durch die alten Seefahrer zur Bestimmung der Himmelsrichtung war um 1300 zur Herstellung des Kompasses ausgereift, und die erste Entdeckungsreise des Kolumbus hatte zur Entdeckung der magnetischen Deklination geführt.

In der Astronomie endlich, die eigentlich einen Zweig der Physik bildet, sich aber schon im Altertum zu einer selbständigen Wissenschaft entwickelt hatte, herrschte unangefochten das Weltssystem des Ptolemäos, nach welchem die Erde im Mittelpunkte der Welt ruht und der Mond, die Sonne und die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn in epicyklischen Bahnen um sie kreisen.

Hiermit ist ungefähr das Gebiet physikalischen Wissens umgrenzt, das beim Beginn des Reformationszeitalters der menschliche Geist in Jahrtausende langer, mühsamer Arbeit trotz der grossen äusseren und noch grösseren inneren Schwierigkeiten der widerstrebenden Natur abgerungen hatte. Jedoch dürfen wir uns nicht vorstellen, dass der Umfang des damals auf den Universitäten vorgetragenen physikalischen Lehrgebietes sich hiermit deckt. Die Scholastik des Mittelalters hatte ihre Aufgabe darin gesucht, das Lehrgebäude des Aristoteles mit den Lehren der Kirche in Einklang zu bringen, von ihr waren daher die Lehren des Aristoteles sowie das Weltsystem des Ptolemäos sanktioniert, und als höchste Autorität auf geistigem Gebiet suchte sie das weltliche Wissen streng innerhalb dieser Grenzen zu halten. In jeder neuen, abweichenden Lehre eine Gefährdung ihrer Autorität erblickend, unterdrückte sie gewaltsam jede selbständige Regung des Forschungsgeistes, und so kam es, dass die Fortschritte auf physikalischem Gebiet nicht von den Inhabern öffentlicher Lehrstühle auf den Universitäten ausgingen, sondern von Privatpersonen, Ärzten, Mönchen, die zwar die Ergebnisse ihrer Forschungen in der Einsamkeit ihrer Studierstube oder Klosterzelle niederschrieben, aber eher bemüht waren, sie ängstlich als ein gefährliches Geheimnis zu behüten, als für ihre öffentliche Verbreitung und Anerkennung zu sorgen. Wir dürfen uns mithin nicht wundern, dass die Professoren der Artistenfakultät im fünfzehnten und sechzehnten Jahrhundert in ihren Vorträgen über Physik noch weit unter dem Standpunkte der gleichzeitigen physikalischen Forschung standen. Ebenso wird es begreiflich, dass man mit dem Aufleben der klassischen Wissenschaften durch den Humanismus früher zur Kenntnis der Schriften der nacharistotelischen antiken Physiker gelangte, als zu den Forschungsergebnissen von Männern des christlichen Abendlandes, die, obwohl dieser Zeit viel näher stehend, oft erst Jahrhunderte später der Vergessenheit entzogen wurden. So verdanken Luther und Melanchthon ihre Ausbildung einer Zeit, in der die Vorträge über Physik sich auf die Auslegung einiger Bücher der Physik des Aristoteles beschränkte, und noch mehr als fünfzig Jahre nach Melanchthons Tode bestand die Aufgabe des „Physicus“ der Artistenfakultät auf vielen deutschen Universitäten darin, „Physicen Aristoteles“, „Sphaeram Joannis de Sacro Bosco“, „secundum librum Plinii“ zu lesen.²⁷⁾

Bei solchem Zustande der Physik auf den Hochschulen wird es erklärlich, dass in dem Reformationszeitalter die Gründer der Gelehrtschulen garnicht auf den Gedanken kamen, die Physik in den Kreis des Unterrichts hineinzuziehen. Obwohl Luther einen offenen Blick für die realen Dinge des Lebens hatte, obwohl Melanchthon sogar ein Lehrbuch der Physik²⁸⁾ schrieb, so lag diese doch der Aufgabe, welche sie den Gelehrtschulen stellten, zu fern, als dass sie diese in den Schulordnungen und Lehrplänen berücksichtigen konnten. Die von ihnen gegründeten Schulen sollten nur Vorbereitungsanstalten sein, um ein erfolgreiches Studium der Wissenschaften auf den Universitäten zu ermöglichen, und da alle Wissensschätze zu jener Zeit noch in den alten Sprachen aufgespeichert waren, so sollten sie nur die Kenntnis dieser Sprachen vermitteln, vor allen Dingen das Lateinische bis zur völligen Beherrschung dieser Sprache pflegen. Die Physik, von der selbst erst die elementarsten Anfangsgründe auf den Universitäten gelehrt wurden, konnte füglich von dem Lehrgebiet der Vorbereitungsanstalten zur Universität ausgeschlossen werden. Auch war Melanchthons Handbuch der Physik „in academia Witebergensi dictata“, also kein Schulbuch, sondern mehr ein Kommentar zur aristotelischen Physik.

Damit sind die Ursachen genügend klar gelegt, weswegen die Physik in die während des Reformationszeitalters gegründeten Schulen keinen Eingang fand, und da die Wirksamkeit dieser Ursachen das ganze sechzehnte Jahrhundert fort dauert, so gilt dasselbe auch von

den Gelehrtschulen der nächsten 5 Jahrzehnte. So sorgfältig man auch alle Aufzeichnungen über den Unterrichtsbetrieb auf den höheren Schulen bis zum Beginn des dreissigjährigen Krieges untersucht, alle auf ihnen gebrauchten Lehrbücher durchforscht, so begegnet man nirgends einer Spur, dass etwas Physik gelehrt worden sei. Nur die Ilfelder Schule bildet eine Ausnahme; hier wirkte Michael Neander (1525—1595), der die Schule zu hoher Blüte brachte und ein Handbuch der Physik schrieb, das er seinem Unterricht in diesem Gegenstande zu Grunde legte.²⁹⁾ Es zerfällt in zwei Teile, deren erster die Welt in eine ätherische und eine elementare Region einteilt; zu ersterer gehören die Gestirne, zu letzterer alles was aus den vier aristotelischen Elementen besteht. Demgemäss behandelt er zuerst die Astronomie, in welcher er sich mit Melanchthon auf den Standpunkt des ptolemäischen Weltsystems stellt, obwohl Kopernikus schon vierzig Jahre vorher (1543) sein Sonnensystem veröffentlicht hatte. Dann werden der Reihe nach meteora, d. h. die Atmosphäre und die Gewässer, metalla, d. h. das Steinreich, stirpes, d. h. das Pflanzenreich und animalia, d. h. das Tierreich abgehandelt. Den zweiten Teil des Buches bildet eine Anthropologie und Psychologie. Die Untersuchung des Inhalts dieses ersten Schulbuches über Physik zeigt, dass der Unterricht in diesem Lehrfach durchaus nicht dem heutigen Begriff der Physik entspricht, sondern mehr ein Unterricht „de omni re scibili et quibusdam aliis“ aus dem Gebiet der Naturbeschreibung war, bei der physikalische Fragen nur gelegentlich gestreift sein mögen.

Im übrigen verdient noch erwähnt zu werden, dass an den Schulen, wo die sphaera nach dem libellus de sphaera des Sacrobusto³⁰⁾ gelehrt wurde, der Schüler auch wohl die vier Elemente des Aristoteles Erde, Wasser, Luft, Feuer und dessen „quinta essentia“, den Äther, kennen lernte, dass er ferner in der Musik mit den verschiedenen Tönen und den Verhältniszahlen ihrer Höhen bekannt wurde. Abgesehen von diesen geringfügigen Bruchstücken von äusserst zweifelhaftem Werte wurde den Schülern unserer höheren Lehranstalten in den ersten hundert Jahren nach ihrer Gründung von der Physik garnichts bekannt.

II.

Während im sechzehnten Jahrhundert die Pflege der Physik auf den Universitäten noch sehr im Argen lag, nirgends über den Vortrag einiger Schriften des Aristoteles hinausging, während auf den gleichzeitigen Schulen noch jede Spur des physikalischen Unterrichts fehlte, vollzog sich gerade in diesem Zeitraum in der physikalischen Forschung jene wichtige Wandlung, die man als den Übergangsprozess von der Physik der Alten zur modernen Physik bezeichnen kann. Unter dem Einflusse des Humanismus hatte sich der Geist des christlichen Abendlandes entwickelt, und als er zu hinreichender Selbständigkeit des Denkens herangereift war, um die bisher gültigen Lehren auf ihre Richtigkeit zu prüfen, begann er im Bewusstsein seiner jungen Kraft mit natürlicher Notwendigkeit alle Fesseln zu sprengen, welche die Freiheit des Denkens und Forschens einengten. Daher rührt jener dem sechzehnten Jahrhundert auf allen Gebieten des geistigen Lebens eigen tümliche revolutionäre Zug. Wie der gelehrte Erasmus und die übrigen Humanisten die Scholastik mit allen Waffen des Geistes bekämpften, wie die Reformatoren von der katholischen Kirche für den Norden Europas die Freiheit des religiösen Lebens erstritten, wie Kopernikus das ptolemäische Weltsystem stürzte, so lehnten sich auch die jener Zeit angehörigen mit physikalischen Forschungen sich beschäftigenden Männer energisch gegen die bisher das wissenschaftliche Leben tyrannisierenden Lehren auf. Es ist kein Zufall, sondern bezeichnend für den gesetzmässigen Zusammenhang zwischen den Erscheinungen auf geistigem und sozialem Gebiet, dass der doppelte Kampf gegen das Machtgebot der Kirche und die intellektuelle Autorität des Aristoteles zunächst in dem politisch wie ökonomisch damals weiter als die übrigen Länder vorgeschrittenen Italien ausgefochten wurde. Nach dem Vorgange des Leonardo da Vinci führten Tartaglia,³¹⁾ Cardano,³²⁾ Telesius,³³⁾ Benedetti³⁴⁾ und Giordano Bruno³⁵⁾ einen erbitterten Kampf gegen die Aristoteliker ihrer Zeit, und mit dem Tode des letztgenannten auf dem Scheiterhaufen (1600) und dem Martyrium des greisen Galilei³⁶⁾ (1564—1642) wurde schliesslich die Freiheit der wissenschaftlichen Forschung erkaufte, wenn auch die Kirche äusserlich zu siegen schien.

In Galileo Galilei erstand nun um die Wende des sechzehnten Jahrhunderts der Mann, der die physikalische Forschung in neue Bahnen wies und der Begründer der Physik im heutigen Sinne des Wortes genannt zu werden verdient. Mit weiser Beschränkung die Frage nach dem Warum?, d. h. nach den letzten Gründen der Erscheinungen hinausschiebend, suchte er seine Aufgabe darin, das Wie? zu erforschen, und machte die Physik dadurch zum Ausdruck des Thatsächlichen. Hatte die alte Physik das „mens agitat molem“³⁷⁾ in wörtlichem Sinne verstanden, so durchzieht sämtliche Arbeiten des Galilei der Gedanke, dass zur Erklärung physikalischer Erscheinungen keine ausserhalb des stofflichen Gebietes liegenden Ursachen heranzuziehen sind, ein Gedanke, den er allerdings niemals in bestimmter Form ausspricht. Freilich konnte auch er sich noch nicht völlig von

dem Banne früherer Anschauungen losmachen, wie seine Äusserungen in der Frage des *horror vacui* beweisen.⁸⁵⁾ Allein er war doch der erste, der mit vollem Bewusstsein für die physikalische Forschung die Methode der Induktion verlangte und selbst in ausgedehntem Masse folgerichtig anwandte, der die Wichtigkeit des Messens erkannte und bei all seinen Untersuchungen durch messendes Vergleichen zu Ergebnissen gelangte. Er lehrte so auf induktivem Wege allgemeine Gesetze finden und ihre Richtigkeit durch das Experiment prüfen, benutzte das Experiment als eine an die Natur gerichtete Frage, um eine Antwort von ihr zu erzwingen, wenn es galt, die allgemeine Gültigkeit eines entdeckten Gesetzes dadurch zu beweisen, dass auf deduktivem Wege Folgerungen aus ihm abgeleitet wurden, deren Richtigkeit durch die Erfahrung experimentell bestätigt werden musste.

Da die Thatsachen der Mechanik die sinnfälligsten sind und sich der Beobachtung am leichtesten darbieten, so lag es in der Natur der Sache, dass die Fortschritte, welche die Physik bei der Anwendung der neuen Methode zunächst machte, sich auf mechanische Fragen bezogen. Schon der niederländische Deichinspektor Stevin (1548—1620)⁸⁶⁾ hatte sich unabhängig von Galilei mechanischen Fragen zugewendet, das Prinzip der schiefen Ebene richtig erkannt, das Prinzip der virtuellen Verschiebungen bei der Untersuchung des Gleichgewichts an Rollen und Flaschenzügen bemerkt und war zum Satz vom Parallelogramm der Kräfte gelangt. Die Anwendung der Prinzipien der Statik auf die Flüssigkeiten führten ihn zu dem bekannten „hydrostatischen Paradoxon“ d. h. dem Satz über den Bodendruck von Flüssigkeiten und zu dem Gesetz von den kommunizierenden Röhren.

Galilei, der später als Stevin, aber ganz unabhängig von ihm, durch originale Betrachtungsweisen zur Erkenntnis derselben Prinzipien der Statik fester und flüssiger Körper gelangt war, erweiterte die Mechanik um die Grundlagen der Dynamik, womit sämtliche Probleme, die in das Gebiet der Mechanik fallen, in den Kreis der Untersuchung gezogen werden konnten. Hier stellte er die Gesetze des freien Falles, des horizontalen und schiefen Wurfs auf, bestimmte die Abhängigkeit der Schwingungsdauer eines Pendels von der Pendellänge, gab die Konstruktion einer Pendeluhr an und sprach zum ersten Male das Trägheitsgesetz aus. Vor allen Dingen aber brachte er Klarheit in die Grundbegriffe der Mechanik: Geschwindigkeit, Kraft, Beschleunigung. Der letztgenannte wurde erst von ihm geschaffen, und während die Kraft vor ihm nur als Druck bekannt war, stellte er ihren Zusammenhang mit der Geschwindigkeitsänderung, d. h. der Beschleunigung fest.

Auch auf anderen Gebieten der Physik war der grosse Florentiner thätig. Er versuchte das Gewicht der Luft zu bestimmen, benutzte die Ausdehnung der Luft durch die Wärme, um das erste Thermoskop herzustellen, und noch trägt ja ein Fernrohr nach ihm seinen Namen. Die Lebensarbeit dieses gewaltigen Forschers war keine vergebliche; der von ihm eingeschlagene Weg wurde sofort von würdigen Nachfolgern betreten, und sein Wirken blieb bestimmend für die physikalische Forschung bis auf den heutigen Tag.

Wer sich mit der Entwicklungsgeschichte der Physik im Zeitraum nach Galilei beschäftigt, dem drängt sich unwillkürlich die Vorstellung von einem Gefäss mit Wasser auf, das gerade bis zum Siedepunkte erhitzt ist. Die unablässige Kulturarbeit der früheren Jahrhunderte hat dem menschlichen Geiste gleichsam einen solchen Vorrat potenzieller Energie zugeführt, dass die innere Spannung nach aussen hin wirksam wird und in allen Kulturländern Europas fast gleichzeitig die Dampfblasen menschlichen Forschungsgeistes in Gestalt neuer physikalischer Entdeckungen und Erfindungen aufsteigen. So sind in Italien die Schüler und Nachfolger Galileis, vor allen Torricelli (1608—1647) und Borelli (1608—1679) thätig, in Deutschland Otto v. Guericke (1602—1686) und nach ihm Leibniz (1646

—1716); in Holland arbeitet Huygens (1629—1695), und in England Boyle (1626—1691) und später Newton (1643—1726), in Frankreich Pascal (1623—1662) und Mariotte (1620—1684) an der Erweiterung der physikalischen Einsicht, neben denen Männer wie Gassendi, Descartes, Riccioli, Grimaldi, Marci, Scheiner, Snellius, Papin, Wallis, Wren, wenn sie auch ihnen gegenüber von untergeordneter Bedeutung sind, eine würdige Stellung einnehmen. Der Drang nach Naturerkenntnis war so gross, dass die vom Forschungseifer beseelten Männer zu besonderen Gesellschaften sich vereinigten, und die Fortschritte der Physik waren derartig, dass sie die Aufmerksamkeit der Staatsleiter und der besitzenden Klassen erregten und diese solche Vereinigungen aufs freigebigste unterstützten. So entstand 1657 in Italien die Accademia del Cimento, von den Schülern Galileis gegründet und von den Mediceern eifrig gefördert, bis sie 1667 von denselben Fürsten für den Preis eines Kardinalshutes auf Verlangen der Kirche wieder aufgelöst wurde. 1662 wurde in London die Royal Society gegründet und 1666 in Paris die Akademie der Wissenschaften. 1677 folgte Deutschland mit einer Reichsakademie, die zehn Jahre später den Titel „Caesarea-Leopoldina Naturae Curiosorum Academia“ erhielt, und 1700 erfolgte die Gründung der Akademie der Wissenschaften in Berlin.

Einer so gesteigerten Thätigkeit auf dem Gebiete der Naturforschung entspricht auch eine gewaltige Vermehrung des Umfanges der physikalischen Wissenschaft sowie eine bedeutende Vertiefung der physikalischen Einsicht. Mit der Aufstellung der Lehre vom Luftdruck durch Torricelli (1642) gelangte man endlich zur Beseitigung der Lehre vom horror vacui und damit zur richtigen Erklärung der Erscheinungen am Heber und bei den Pumpen. Daran schloss sich sofort die Herstellung des Barometers, das schon Pascal zu Höhenmessungen benutzen wollte. Guericke's Erfindung der Luftpumpe gab Gelegenheit, die Lehre vom Luftdruck zu festigen, die Grösse desselben richtig zu würdigen, die Erscheinungen im Vakuum zu prüfen und die Bedeutung der Luft als Trägerin des Schalles endgültig sicher zu stellen. Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft wurde von den Professoren der Accademia del Cimento, von Gassendi (1592—1655) sowie von andren Physikern jenes Zeitraums, z. B. Mersenne (1588—1648) und Boyle bestimmt. Boyle (1661) und nach ihm Mariotte (1676) entdeckten das nach ihnen benannte Gesetz über die Abhängigkeit des Volumens luftförmiger Körper von dem auf ihnen lastenden Druck. Boyle und Borelli schafften auch Klarheit über die Kapillarität, die man zunächst als eine Wirkung des Luftdrucks angesehen hatte.

Während man so die Eigenschaften der Luft erforschte und diesen Körper unter die Botmässigkeit mechanischer Gesetze zu bringen bemüht war, wurde die Mechanik selbst auf dem von Galilei betretenen Wege weiter entwickelt und noch im siebzehnten Jahrhundert zum Abschluss gebracht. Hatte schon der Prager Professor Marci (1595—1667) die Gesetze des elastischen Stosses aufgestellt, so wurde durch die 1668 und 1669 erschienenen Arbeiten von Wallis (1616—1703), Wren (1632—1723) und Huygens auf mathematischem Wege die Gesetze des Stosses elastischer und unelastischer Körper vollständig entwickelt. Huygens setzte die Arbeiten Galileis durch die Erforschung der Pendelgesetze fort, benutzte das Pendel zur Bestimmung der Beschleunigung g , wollte die Länge des Sekundenpendels als Einheit der Länge einführen, stellte die Wirkung der Centrifugalkraft fest und machte sich um die Verbesserung der Uhren durch die Einführung des Pendels und der Unruhe verdient. Sein Hauptverdienst ist aber die Aufstellung des Prinzips der lebendigen Kräfte, mit dessen Hülfe er das Problem des Schwingungsmittelpunktes beim physikalischen Pendel löste. Bei ihm finden wir die ersten Andeutungen des Prinzips von der Erhaltung der Kraft, wie er denn schon auch die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile richtig erkannt und nachdrücklich betont hat.

Newton endlich bereicherte die Grundbegriffe der Mechanik um den Begriff der Masse, die man vor ihm als gleichbedeutend mit dem Gewicht angesehen hatte. Er erweiterte ferner den Kraftbegriff über die Erdschwere hinaus, stellte diese als einen besonderen Fall der allgemeinen Massenanziehung hin, deren Gültigkeit im ganzen Weltenraum sein Gravitationsgesetz ausspricht. Den Prinzipien der Mechanik fügte er das von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung hinzu. Er hob durch seine 1687 erschienenen „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ die Mechanik auf solche Höhe, dass man jeden Fall der Statik oder Dynamik rein mathematisch behandeln konnte und seiner Lösung keine prinzipiellen, sondern nur noch mathematische Schwierigkeiten entgegenstanden. In den von ihm aufgestellten mustergültigen Regeln zur Erforschung der Natur finden wir zum ersten Male die sogenannten allgemeinen Eigenschaften der Körper zusammengestellt, die gleichsam als eine Art Einleitung in die Physik den Anfang aller Lehrbücher bilden und wohl nirgends weniger am Platze sind als zu Beginn eines physikalischen Lehrkurses. Als Kraftmass bediente sich Newton bei allen seinen Betrachtungen der Bewegungsgrösse $m \cdot v$, d. h. das Produkt aus der bewegten Masse und der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit; erst Leibniz schlägt statt dieses Masses $m \cdot v^2$ vor, und führt für diese Grösse die Bezeichnung „lebendige Kraft“ ein.

Während das saeculum mathematicum einen seiner grössten Triumphe darin feiert, dass es sämtliche mechanischen Probleme auf mathematischem Wege lösen lehrt, sind die gleichzeitigen Fortschritte auf dem Gebiet der Wärmelehre dagegen nur gering. Die Ursache hiervon haben wir darin zu suchen, dass es diesem ganzen Zeitraum noch an einem geeigneten, genauen Messinstrumente für die Wärme fehlte, man also noch keine vergleichenden Beobachtungen von beweiskräftiger Zuverlässigkeit anstellen konnte. Wohl hatten die Professoren der Accademia del Cimento das Thermoskop Galilei's schon zu einem Thermometer gemacht, indem sie die Röhre, in der die thermoskopische Flüssigkeit aufsteigt, vorher luftleer machten, allein mehr als ein halbes Jahrhundert verging in vergeblichem Bemühen, eine brauchbare Skala ausfindig zu machen. Obwohl die Florentiner Experimentatoren der obengenannten Akademie die Konstanz des Schmelzpunktes beim Eise feststellten, obwohl Halley 1688 die Konstanz des Siedepunktes kannte, obwohl schon Huygens in seinen Schriften vorschlug, diese beiden Temperaturen als feste Punkte einer Skala zu verwenden, schwankte man zwischen der Temperatur tiefer Keller, schmelzender Butter, siedenden Weingeistes und der menschlichen Blutwärme. Bei dem gänzlichen Mangel an genauen Messungen konnten die zahlreichen Beobachtungen über die Wirkungen der Wärme, die Ausdehnung und die Veränderung des Aggregatzustandes, nicht zur Auffindung neuer Gesetze führen. Von Wichtigkeit wurde die Beobachtung, dass der Siedepunkt vom Luftdruck abhängig ist und dass die Spannkraft des Wasserdampfes mit dem Druck wächst, eine Thatsache, die Papin (1647—1712) bei der Herstellung des nach ihm benannten Kochtopfes benutzte und seine physikalischen Versuche behufs Erfindung einer Dampfmaschine veranlasste. Über die eigentliche Natur der Wärme stellte schon Baco (1561—1626) in seinem „neuen Organon“ die Ansicht auf, dass sie eine Art Bewegung sei, doch war seine Ansicht ohne Einfluss auf die physikalische Forschung der Folgezeit geblieben. Noch war diese nicht weit genug vorgedrungen, um die alte Anschauung, dass die Wärme ein Stoff sei, der den Körpern in grösserem oder geringerem Masse innewohne, widerlegen zu können.

Hinsichtlich der elektrischen Erscheinungen war durch den Leibarzt der Königin Elisabeth von England, Gilbert (1540—1603), die Beobachtung gemacht worden, dass fast

alle Körper durch Reiben die beim Bernstein schon bekannte Eigenschaft gewannen, leichte Körperchen anzuziehen; von ihm rührt auch der Vorschlag her, die Ursache dieser Anziehung elektrische Kraft zu nennen; sowie die Herstellung des ersten Elektroskops, um die Wirkungen dieser Kraft zu prüfen. Ebenderselbe lehrte auch künstliche Magnete aus geglähtem Eisen durch Streichen herstellen, die Wirkung der natürlichen Magnete durch Armierung verstärken und erklärte die Erscheinungen der Magnetnadel dadurch, dass die Erde als Magnet wirke. Guericke beobachtete zuerst die Abstossung elektrisierter Teilchen, und er wie zeitgenössische Forscher waren bemüht, durch Reibung grössere Mengen Elektrizität zu gewinnen, Bemühungen, aus denen im folgenden Jahrhundert die Elektrisiermaschine hervorging. Hinsichtlich der Erklärung der beobachteten elektrischen Erscheinungen war man sich allgemein darüber einig, dass durch die Reibung unendlich feine Massen der Materie vom Körper ausströmten, welche die anziehenden Wirkungen ausübten, dass dagegen die magnetische Kraft eine natürliche Eigenschaft der Magnete sei, die ihren Sitz in einer besonderen magnetischen Materie habe.

In der Akustik hatte schon Galilei erkannt, dass die Tonhöhe durch die Schwingungszahl bedingt ist, und Versuche gemacht, die Schwingungszahlen der Töne zu bestimmen. Mersenne setzte die Versuche bei schwingenden Saiten fort und stellte die erste Formel auf, um die Schwingungszahl aus der Länge, der Dicke und der Spannung einer Saite zu berechnen. Hatte sein Lehrer Galilei zum ersten Male stehende Wellen beobachtet, so wurde er auf die Erscheinung des Mittönens und der Resonanz aufmerksam. Sauveur (1653—1716) bemerkte, dass eine schwingende Saite auch die Obertöne ihres Grundtones geben kann, führte die Bezeichnungen Schwingungsknoten und Schwingungsbauch in die Wellenlehre ein, beobachtete und erklärte die Schwebungen beim Zusammenklingen zweier Töne.

Nächst der Mechanik hat kein Zweig der Physik im siebzehnten Jahrhundert so viele Fortschritte aufzuweisen wie die Optik. Gleich an der Schwelle dieses Zeitraums steht die Erfindung der wichtigsten optischen Instrumente. Der holländische Brillenmacher Zacharias Janssen erfand 1590 das Mikroskop; um 1608 folgte dann, gleichfalls in Holland, wahrscheinlich durch Lippershey, die Herstellung des ersten Fernrohrs mit konvexem Objektiv und konkavem Okular. 1609 stellte auf die erste Kunde hiervon Galilei selbstständig ein ebensolches her und benutzte es sofort zur Beobachtung der Himmelskörper. Gleich das erste Auftreten des Fernrohrs ist daher von der Entdeckung der Jupitermonde, der Phasen der Venus und der Sonnenflecke durch Galilei begleitet. 1610 konstruierte der Jesuitenpater Scheiner (1575—1650), dessen Name ja auch in dem nach ihm benannten Versuch zur Bestimmung der deutlichen Sehweite fortlebt, das astronomische Fernrohr mit konvexem Objektiv und Okular. Sein Zeitgenosse Zuchi (1586—1670) stellte 1616 das erste Teleskop her, das aus einem Hohlspiegel und einer Zerstreuungslinse bestand. 1663 schlug Gregory, etwas später Cassegrain die nach ihnen benannten Teleskope vor, wurden aber in der thatsächlichen Herstellung von Newton überholt, der schon 1671 das nach ihm benannte Teleskop zur Ausführung brachte. Damit waren die wichtigsten Werkzeuge zur besseren Erforschung des Himmels gewonnen; bezeichnen die Keplerschen Gesetze die wichtigste astronomische Errungenschaft, die durch Anwendung dieser Hilfsmittel erreicht wurde, so hat für die Optik die Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichts durch Olaf Römer (1676) keine geringere Bedeutung.⁴⁰⁾

Als Hauptergebnis der diesem Zeitraum angehörigen optischen Forschungen haben wir aber die Aufstellung grundlegender Anschauungen über die eigentliche Natur des Lichtes

anzusehen. Nachdem Snellius (1591—1626) und nach ihm Descartes (1596—1650) das Brechungsgesetz entdeckt und richtig formuliert hatten,⁴¹⁾ wurde das Rätsel der Farben gelöst. Der schon erwähnte Marci widerlegte die alte Lehre, dass die Farben nur an der Grenze von Licht und Schatten entstehen, stellte einen gewissen Zusammenhang der Lichtfarbe mit der Brechung fest und suchte die verschiedene Brechbarkeit auf eine verschiedene Kondensation des Lichtes zurückzuführen. Grimaldi (1618—1663) sprach zuerst die Behauptung aus, dass das farbige Licht ein Bestandteil des weissen sein müsse: er entdeckte auch die Diffraktion oder Beugung des Lichtes und beobachtete zuerst Interferenz-Erscheinungen. Newton endlich stellte fest, dass die Farben durch die verschiedenen Brechungsexponenten bestimmt sind, zerlegte das weisse Sonnenlicht in seine farbigen Bestandteile, um die farbigen Strahlen wieder zu weissem Licht zu vereinigen, bestimmte die verschiedenen Brechungsexponenten und bewies, dass einfache farbige Strahlen nicht weiter zerlegbar sind. Er berechnete zuerst die Radien der einzelnen Farbenbögen und die Breiten des Haupt- und Nebenregenbogens. So eingehend seine Forschungen über die Dispersion des Lichtes waren, so stellte er doch die irrige Behauptung auf, dass sie der Brechung proportional sei, weshalb er auch die Möglichkeit achromatischer Linsensysteme leugnete und die Verbesserung der Fernröhre auf teleskopischem Wege zu erreichen suchte. Newtons Landsmann und Zeitgenosse, Hooke (1635—1703), stellte über die eigentliche Natur des Lichtes die Lehre auf, dass es in Schwingungen des Äthers bestehe, die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung sind. In Huygens „*Traité de la lumière*“ vom Jahre 1690 findet sich eine nahezu vollständige Undulationstheorie des Lichtes ausgearbeitet, die alle Erscheinungen der Spiegelung und der Brechung, sogar der Doppelbrechung übereinstimmend mit unsern jetzigen Anschauungen erklärt. Nur hinsichtlich der Richtung der Schwingungen, die er für longitudinale hält, hat er noch irrige Vorstellungen. Obwohl Huygens somit am Ausgange des siebzehnten Jahrhunderts sich schon fast zu der Höhe der Vorstellungen emporgearbeitet hatte, die gegenwärtig für die Natur des Lichtes massgebend sind, gelangte seine Undulationstheorie doch zunächst nicht zur Herrschaft. Die Ursache hiervon war der überwiegende Einfluss Newtons, den seine unbestreitbar hohen Verdienste und hervorragenden Leistungen zu einer alle Zeitgenossen überstrahlenden Höhe des Ruhmes und des Ansehens emporhoben. Er huldigte hinsichtlich des Lichtes der Ansicht, dass die leuchtenden Körper die Ätherteilchen aussenden und das Aufprallen derselben auf die Netzhaut die Empfindung des Lichtes hervorruft. Da er nun von sich selbst behauptete: „*hypotheses non fingo*“, so hielten seine Anhänger die von ihm ausgesprochene Ansicht über das Wesen des Lichtes für den Ausdruck des Thatsächlichen und übersahen, dass diese Emission des Lichtes eine Hypothese der bedenklichsten Art war. Zur Erklärung der Spiegelwirkungen sah sich Newton genötigt, den Lichtstrahlen die Fähigkeit zurückgeworfen zu werden beizulegen; die Brechungsercheinungen nötigten ihn, den Lichtstrahlen die Fähigkeit gebrochen zu werden beizulegen, und die Doppelbrechung und Beugung des Lichtes veranlassten ihn zu der Behauptung, dass die Lichtstrahlen „verschiedener Anwandlungen“ fähig seien. Er wurde sich nicht bewusst, dass er damit gleichsam auf die aristotelische Erklärungsweise der Naturerscheinungen vermöge der Eigenschaften der Körper zurückkam, wie auch das wichtige Gesetz der allgemeinen Massenanziehung die Vorstellung entstehen liess, dass eine Masse mit der Eigenschaft begabt sei, eine andere Masse anzuziehen und so sich die Gravitationserscheinungen erklärten. Obwohl Newton wie alle Physiker seiner Zeit von der Verkehrtheit der aristotelischen Methoden der Naturerklärung durchdrungen war, obwohl alle nachdrücklich forderten, dass die Physik lediglich der Ausdruck des Thatsächlichen sein soll,

tritt diese doch mit den eben erwähnten Spuren aristotelischer Erklärungsweisen behaftet in das achtzehnte Jahrhundert ein, und ihre hemmenden Wirkungen lassen sich durch jenen ganzen Zeitraum hindurch verfolgen.

Wie Galilei am Beginn des siebzehnten Jahrhunderts, so steht Newton an seinem Ausgange und verleiht der Physik des folgenden Zeitraums das Gepräge seines Geistes. Ähnlich wie einst Euklides das gesamte geometrische Wissen der Alten in seinem Werke zu einem vollendeten, wissenschaftlichen System zusammengefasst hatte, so vereinigte er das physikalische Wissen seiner Zeit zu einem System, das auf erfahrungsmässig feststehenden Thatsachen fussend durch seine mathematische Betrachtungsweise eine den „Elementen“ des Euklides ähnliche Form erhielt und durch die Art seiner Beweisführung in allen, die es studierten, das Gefühl völliger Sicherheit und Zuverlässigkeit hervorrief. So wurden seine „principia“ zu einem klassischen Werke allerersten Ranges, dessen Einfluss auf alle späteren Lehrbücher der Physik bis in unsere Zeit hinein zu spüren ist.

Diese herrschende Stellung, die Newton und seine „principia“ mehrere Menschenalter hindurch einnahmen, beruhte vor allen Dingen auf der ausgedehnten Anwendung der mathematischen Methode, die er durch die Erfindung der Fluxionsrechnung, d. h. der Differenzialrechnung, noch besonders geeignet zur Behandlung physikalischer Probleme machte. In der gesamten wissenschaftlichen Welt erfreute sich damals die Mathematik des höchsten Ansehens, nicht zum wenigsten deshalb, weil sie sich als ein so wichtiges Hilfsmittel für die Erforschung der Natur erwies; allgemein war man überzeugt, dass ohne sie eine gründliche Kenntnis der Natur unmöglich sei, dass die Physik nur dort eine völlige Genauigkeit erreichen kann, wo sie Mathematik anwendet und die Vorgänge in Formeln kleidet. Daher nehmen auch alle erwähnten Förderer der Physik einen Ehrenplatz in der Geschichte der Mathematik ein, und jene wird als die höchste mathematische Disziplin angesehen, fast ausschliesslich auch Mathesis applicata genannt. Alle Bestrebungen, die Pflege der Mathematik in den wissenschaftlich gebildeten Kreisen zu heben, kamen indirekt auch der Physik zu gute.

Wirkten so die bedeutenden Fortschritte, welche die Physik im siebzehnten Jahrhundert machte, sowie die Geistesrichtung, die das wissenschaftliche Leben in jenem „saeculum mathematicum“ beherrschte, als ein mächtiger Hebel für Hineinziehung unserer Wissenschaft in den Unterrichtsstoff der höheren Schulen, so wurde diese Wirkung noch durch die pädagogischen Bestrebungen verstärkt, die sich in jenem Zeitraum zu regen begannen. Diese nahmen ihren Ausgang von Wolfgang Ratich (1571—1635) und Johann Amos Comenius (1592—1671). Beide wollten ein bloss verbales Wissen, zu dem der bisherige Unterrichtsbetrieb auf den höheren Schulen hinführte, beseitigen und an die Stelle des leeren Wortes das Ding selber mit seinem begrifflichen Inhalt setzen. Nachdrücklich verlangen sie daher die Pflege der Realien, und wie wichtig ihnen dabei die Physik ist, beweist schon der Umstand, dass beide ein Lehrbuch der Physik⁴²⁾ schrieben, das uns ihre Anschauungen über den Inhalt und die Methode dieses Lehrfachs wiedergibt.

In der 1632 geschriebenen Vorrede zu seiner 1633 erschienenen Physik teilt Comenius mit, dass er durch die Schriften des Spaniers Vives⁴³⁾ (1492—1540), des Italieners Campanella (1568—1639) und durch die „Instauratio magna“ des grossen Baco angeregt sei, der realen Aussenwelt in der Ausbildung des jugendlichen Geistes mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Er will von Aristoteles und seiner heidnischen Naturbetrachtung nichts wissen, betont, dass blosses Disputiren für die Naturerkenntnis wertlos sei und nur die Betrachtung der Natur zu erspriesslichen Kenntnissen führe. Er will auf „christliche“ Weise das lebendige Buch der Natur aufschlagen und aus diesem lernen. Die darauf folgenden Prolegomena geben

seine Ansicht über den Begriff der Physik: „*Physica est rerum naturalium scientia*“, der sich also mit dem aristotelischen, nicht mit dem heutigen Begriff deckt, über die Art wie man Naturerkenntnis gewinnt: „*Scientia naturae acquiritur naturam ipsam scrutando*“ und erklären das scrutari dahin: „*Quomodo, et qua re, unumquodque in Natura fiat, speculari*“. Er steht hier also auf völlig richtigem Standpunkt. In den Erläuterungen, die er zu diesen beiden Sätzen giebt, kommen seine Ansichten noch klarer zum Ausdruck. Nachdrücklich hebt er hervor: „*Physices itaque discipuli non felicius et facilius institui possunt, quam si oculari demonstratione doceantur*“.

Hierauf wird die Physik in zwölf Kapiteln behandelt, deren Ueberschriften schon verraten, dass die Hälfte von ihnen garnicht zur Physik im heutigen Sinne des Wortes gehören. Das erste handelt von der „*Idea mundi creandi et creati*“ und zeigt, welche Bewandnis es mit der vorher ausgesprochenen Forderung hat, die Naturphilosophie nicht heidnisch sondern christlich zu treiben. Es enthält nämlich die biblische Schöpfungsgeschichte, deren einzelne Sätze mit längeren Zusätzen und Erläuterungen begleitet werden. Diese Schöpfungsgeschichte macht Comenius zur Basis seiner Physik. Das zweite Kapitel handelt „*de visibilibus Mundi principiis, Materia, Spiritu et Luce*“. Von der „*Materie*“ wird unter anderem behauptet, dass sie von ewiger Dauer, unauflöslich und überall zusammenhängend ist, nirgends einen leeren Raum duldet. Die Aufgabe des Geistes oder der Weltseele (*anima mundi*) ist: 1. die Materie bewohnen, 2. sich durch die ganze Materie zu bewegen, um sie zu erhalten, 3. die besonderen Formen der Dinge überwachen, 4. sich Körper zum künftigen Gebrauche zu bilden. Dem Licht hat Gott eine dreifache Kraft verliehen: 1. *Lumen*, d. h. alles zu erleuchten, 2. *Motus*, d. h. die ergriffene Materie beim Verbrennen mit sich zu reissen, 3. *calor*, d. h. die Materie zu erwärmen und dadurch auszudehnen oder zu verdünnen. Das dritte Kapitel handelt „*de rerum Motu*“. Die Bewegung ist eine den Körpern verliehene Eigenschaft und kann einfach oder zusammengesetzt sein. Acht verschiedene Arten der Bewegung werden unterschieden, von denen zwei von der Wärme: *expansio*, *contractio*, vier von einem anderen Körper: *Aggregatio*, *sympathia*, *continuitas*, *impulsio*, zwei von ihm selber aber „*mediante Spiritu universali*“ herrühren: *libratio* und *libertas*. Die beiden ersten dieser Bewegungen sind ohne weiteres verständlich. Hinsichtlich der vier nächsten lassen sich kaum den modernen Anschauungen entsprechende Bezeichnungen finden, obwohl Comenius sie näher erläutert und Beispiele für jede anführt. Die *libratio* ist das Schwanken, und die *libertas* scheint dem angeführten Beispiel zufolge die Elastizität zu bedeuten.

In dem vierten Kapitel spricht Comenius von den Eigenschaften der Dinge, die entweder innere oder äussere (*extrinsecae vel accidentales*) sein können. Zu den ersteren rechnet er die Härte, die Brechbarkeit, die Unverbrennlichkeit. Die letzteren können entweder verborgene (*occultae*), z. B. die magnetische Eigenschaft, oder sinnlich wahrnehmbare (*sensuales*) sein: „*Color, sonus, sapor, odor, tangor*. Die letztgenannte, die *qualitas tangibilis*, hat sieben Arten: verdünnt oder dicht, feucht oder trocken, weich oder hart, biegsam oder spröde, glatt oder rauh, leicht oder schwer, warm oder kalt. Hierbei werden die verschiedenen Wirkungen der Wärme besprochen, die alle auf Ausdehnung oder Veränderung des Aggregatzustandes hinauslaufen. Beim *sapor* werden die verschiedenen Geschmacksarten, süss, bitter, salzig u. s. w. besprochen; unter *Color* finden wir sechs Farben aufgezählt: weiss (*Albedo*), gelb (*Flavedo*), grün (*viror*), rot (*rubedo*), blau (*caeruleitas*), schwarz (*nigredo*). Hinsichtlich des Schalles weiss er nur zu sagen, dass er von einem heftigen Durchschneiden der Luft herrührt und je nach der Art der Durchbrechung *tinnitus*, *murmur*, *tonitrus*, *mugitus* sive *boatus*, *Rugitus*, *sibilus* sein kann!

Das fünfte Kapitel handelt „de rerum mutationibus: generatione, augmentatione, diminutione, alternatione, corruptione“. Das sechste bespricht die vier Elemente: Aether, Luft, Wasser, Erde. Das siebente trägt die Überschrift: „De Vaporibus“, handelt also von den Dämpfen oder Dünsten und bespricht bei dieser Gelegenheit die Winde und die Erscheinung von Ebbe und Flut. Die Ursache der Winde sind: „exhalationes alicubi copiosae, aërem ad alio fluendum impellentes“ und die der Flut sind: „vapores interni, quibus mare intumescens sese diffundit, detumescens recidit!“. Diese vapores interni rühren von einem „igne subterraneo“ her. Die darauf folgenden drei „Aphorismen“ desselben Kapitels stellen aber auch einen Zusammenhang der Gezeiten mit Sonne und Mond fest. Zum Schluss werden die Erdbeben noch kurz besprochen. Die Überschriften der Kapitel 8 bis 12 lauten der Reihe nach: De substantiis concretis, sideribus nempe, meteoris et mineralibus; de plantis; de animalibus; de homine; de angelis! und ein Appendix handelt dann noch von den Krankheiten des Körpers, der Seele, des Geistes und von ihren Heilmitteln.

Diese kurze Untersuchung der „Physica“ des Comenius giebt uns genügenden Aufschluss über die Vorstellungen, die der berühmteste Pädagoge des sechzehnten Jahrhunderts mit dem Begriff Physik verband. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass er ein Zeitgenosse Galileis war, dass also die Grundlagen der Pädagogik um dieselbe Zeit geschaffen wurden, wo die Anfänge der modernen Physik sich zeigten. Allein Comenius blieb von Galilei stets durch das grosse Kriegstheater des dreissigjährigen Krieges getrennt, die Forschungsergebnisse des grossen Florentiners hatten keinen Einfluss auf ihn, blieben ihm vielleicht zeitlebens unbekannt, und so dürfen wir uns nicht wundern, dass, obwohl er ein Gegner des Aristoteles ist, obwohl er über den behufs Gewinnung sicherer physikalischer Kenntnisse einzuschlagenden Weg durchaus richtige Ansichten äusserte, seine Physik noch gänzlich aristotelische Züge trägt. Doch ist der Physik Neanders gegenüber wenigstens der Fortschritt festzustellen, dass der Inhalt des Lehrbuchs von Comenius schon ungefähr zur Hälfte wirklich physikalischer Art ist.

Der Einfluss des Comenius auf die Schulen und Schulmänner Deutschlands war ungeheuer, seine drei lateinischen Lehrbücher⁴⁴⁾ wurden an vielen höheren Lehranstalten eingeführt, allein es lässt sich nicht nachweisen, dass auch seine Physik an irgend einer von ihnen einem Unterricht in dieser Disziplin zu Grunde gelegt worden sei. Auch überholten die gewaltigen Fortschritte der Physik in den folgenden Dezennien den Standpunkt des Comenius zu sehr, als dass sein auf mehr religiöser Basis ruhendes und auch die Einpflanzung echter Frömmigkeit anstrebendes Lehrbuch grosse Bedeutung gewinnen konnte. Von wichtigem Einfluss wurde jedoch seine energisch ausgesprochene Forderung, die Realien mehr für die Jugendbildung zu berücksichtigen, eine Forderung, die Ratiich mit demselben Nachdruck erhob. Ratiichs Schüler, der bekannte Jenenser Professor Weigel (1625—1699) der Giessener Professor Helwig und sein Schwiegersohn, der spätere Hamburger Domprediger Balthasar Schupp (1610—1661), der Direktor des Hamburger Johanneums Joachim Jungius (1587—1657) wirkten ihr ganzes Leben hindurch mit Wort und Schrift für die Anerkennung dieses Prinzips, und da Semler, der Gründer der ersten Realschule, ein Schüler Weigels war, so ist aus den Bestrebungen schliesslich diejenige Gattung höherer Schulen hervorgegangen, die, als gleichberechtigt neben der Pflege der Sprachen, die Pflege der Realien betreiben wissen will und von vornherein die Physik in die Zahl der Unterrichtsfächer aufnahm.

Während jedoch die Realschulen erst ein Produkt des achtzehnten Jahrhunderts sind, entstanden noch am Ausgange des siebzehnten andere höhere Lehranstalten, die ebenfalls die Physik in den Kreis des Unterrichts hineinzogen und ihre Pflege sogar nachdrücklich

betonten. Schon 1618 war in Kassel das Collegium Mauritianum gegründet worden, das speziell für die Erziehung der Söhne des Adels bestimmt war und an dem ein professor physices alljährlich lectionem compendii physici absolvieren sollte.⁴⁵⁾ In den Wirren des dreissigjährigen Krieges ging diese Anstalt unter. Dann empfahl zunächst wieder der schon genannte Schupp die Gründung von Ritterakademien, in denen „die adelige Jugend königlich und fürstlich und ihrem Stande gemäss auferzogen werde, sowohl in der wahren Gottesfurcht als auch in allerhand guten Künsten, Sprachen und ritterlichen exercitiis von den Lehrern, die Gott und die Welt kennen“.⁴⁶⁾ Diese Anstalten gewannen auch den Beifall des grossen Leibniz, der als Schüler Weigels durchaus für das Betreiben der nützlichen Wissenschaften war und dessen Einfluss und Ansehen in höfischen Kreisen vornehmlich auf die Gründung von Ritterakademien hinwirkten. In allen seinen Schriften pädagogischen Inhalts betont er die Realien und hebt überall nachdrücklich auch die Pflege der Physik hervor. In seiner Jugendschrift vom Jahre 1668: *Nova methodus docendi discendique iuris* erwähnt er als Unterrichtsfächer für das Knabenalter ausdrücklich die Statik, die Optik und die physikalischen Wissenschaften; in seinem *Projet de l'éducation dun prince* (1693) dringt er ebenfalls auf das Betreiben von Physik und wenn er in einigen hingeworfenen Bemerkungen die Frage: *Quaenam discenda ad usum vitae* behandelt,⁴⁷⁾ bezeichnet er es als durchaus „notwendig“ die „Mechanik und die ganze praktische Physik, soweit sie dem Gebrauche dient, auf das Allergenaueste zu verstehen.“ Berücksichtigen wir, dass Leibniz an einer Stelle Statik und Optik unter den mathematischen Wissenschaften aufzählt, dagegen Pflanzen, Tiere, Mineralien ausdrücklich als Gegenstände der physikalischen Wissenschaft bezeichnet, dass er an einer andern Stelle Mathematik und Mechanik in einem Athem nennt, nachher erst die Physik erwähnt, so ergibt sich, dass der Begriff der Physik am Ausgange des siebzehnten Jahrhunderts von der Beimengung naturbeschreibender Wissenschaften noch nicht geklärt ist. Dagegen gelten Teile unserer heutigen Physik als Zweige der Mathematik, wie ja bei der vornehmlich mathematischen Geistesrichtung jenes Jahrhunderts erklärlich wird.

Leibniz hielt sich persönlich von dem Schul- und Universitätsleben seiner Zeit vornehm fern, er verschmähte es, selbst thätig die Hand ans Werk zu legen, sondern wollte von oben her umgestaltend und verbessernd auf den Unterrichtsbetrieb einwirken. Da er aber in allen Wissenschaften unbestritten den hervorragendsten Geisterp des Auslandes ebenbürtig war, so bewunderten und verehrten ihn seine deutschen Zeitgenossen als ihren geistigen Führer; daher erklärt sich auch der beherrschende Einfluss, den seine Ansichten über die Notwendigkeit der Verbreitung nützlicher Kenntnisse gewannen und der schliesslich zu einem im folgenden Jahrhundert sich allmählich vollziehenden Wandlungsprozess der höheren Schulen zu Gunsten des Nützlichen führte.

So vereinigten sich im saeculum mathematicum die gewaltigen Fortschritte der physikalischen Wissenschaft, die herrschende Geistesrichtung und pädagogische Bestrebungen, um der Einführung der Physik in den Lehrbetrieb der höheren Schulen den Boden zu bereiten. Forschen wir nun nach, in wie weit dieser Lehrgegenstand in den Gelehrtenschulen jener Zeit wirklich Eingang gefunden hat, so ist wenig Erfreuliches zu berichten. Abgesehen von den Verordnungen für die Ritterakademien thut keine der diesem Zeitraum angehörigen Schulordnungen der Physik auch nur Erwähnung.⁴⁸⁾ Bei den verheerenden Wirkungen des dreissigjährigen Krieges, der nicht nur die politische, sondern auch die geistige und die wirtschaftliche Kraft des deutschen Volkes auf Jahrzehnte hinaus lähmte, war ein Aufschwung im höheren Schulwesen zunächst unmöglich. Überall fehlte es an den erforderlichen Mitteln, und nur äusserst langsam und mühsam konnten die höheren Schulen auf den Stand

vor dem Kriege zurückgebracht werden. Von Wichtigkeit wurde jedoch, dass in diesem Zeitraum die Mathematik als obligatorisches Lehrfach in fast allen höheren Schulen Eingang⁴⁹⁾ fand und dass infolge davon auch die Physik als angewandte Mathematik dort, wo die Mittel und Lehrkräfte ausreichten, in einigem Umfang betrieben wurde. Es kennzeichnet die Abhängigkeit des Schulbetriebes von ökonomischen Fragen, dass in dieser Hinsicht Hamburg und Nürnberg, die unter den Folgen des grossen Krieges weniger zu leiden hatten, an erster Stelle zu nennen sind.

An dem Johanneum in Hamburg wirkte von 1629—1657 der schon genannte Jungius als Direktor, welcher der Pflege der Mathematik und der Realien günstig gesinnt war, z. B. auch für Anschauungsmittel (*media autoptica*) sorgte,⁵⁰⁾ die in einem besonderen Schranke aufbewahrt wurden. Unter ihm war Adolph Tasse (1585—1654) als Professor der Mathematik thätig, der auch die angewandte Mathematik in den Kreis des Unterrichts hineinzog, und da seine Kompendien sämtlicher mathematischen Disciplinen, im Jahre 1573 von Sivers herausgegeben, uns noch erhalten sind, so lässt sich auch ein Überblick gewinnen, was in der obersten Klasse des Johanneums an Physik gelehrt wurde. Es kommen hierfür zwei Kompendien in Betracht, die Statik und die Optik, von Tasse *Photica* genannt. Beide sind in streng mathematischer Weise nach dem Vorbilde des Euklides dargestellt. Demgemäss beginnt das erste Kapitel der Statik mit einigen Definitionen, von denen besonders die Schwere, der Schwerpunkt, das Gleichgewicht, die Kraft (*pondus elevans*) und die Last (*pondus demittens*) erwähnt werden mögen. Daran schliessen sich einige Hypothesen über die Richtung der Schwere und über das Gleichgewicht zweier gleicher Kräfte, Hypothesen, die man als die allgemeinsten Erfahrungssätze bezeichnen könnte.

Das zweite Kapitel bringt „*theoremata*“, zum Teil allgemeine Gesetze über das Gleichgewicht von Kräften, die eigentlich Erfahrungssätze sind und auf experimentellem Wege abgeleitet werden müssten. Die beiden letzten sprechen das Gesetz der schiefen Ebene aus, ohne irgend wie einen Beweis dafür zu geben. Im dritten Kapitel werden vier Probleme gelöst, die Ähnlichkeit mit der Bestimmung der Resultante zweier oder mehrerer Kräfte haben, deren Angriffspunkte in einer Geraden liegen. Nachdem im vierten Kapitel einige allgemeine Sätze über den Schwerpunkt gegeben sind, wird im fünften Kapitel die Lage des Schwerpunktes für ein Dreieck, Viereck, Vieleck, für einen Halbkreis, Kreissektor und ein Kreissegment bestimmt und im sechsten Kapitel dieselbe Aufgabe für ein Prisma, eine Pyramide, einen Pyramidenstumpf, einen Cylinder, einen Kegel und einen abgestumpften Kegel gelöst. Die folgenden Kapitel, sieben bis elf, behandeln der Reihe nach den Hebel (*vectis*), die Rolle (*trochlea*) mit allen uns bekannten Flaschenzügen, das Wellrad (*axis in peritrochio*), den Keil (*cuneus*) und die Schraube (*cochlea*). Interessant ist, dass er die Wirkung des Keils auf eine Hebelwirkung zurückführt und dabei sowohl die Betrachtungsweise des Aristoteles, der zwei einzelne Hebel unterscheidet, wie die des Ubaldi (1545—1607)⁵¹⁾ wiedergibt, der den Keil als einen Doppelhebel ansieht.

Seine „*Photica*“ teilt Tassius in zwei Hauptabschnitte ein, die er „*Photonomica*“ und „*Photomatica*“ betitelt. Der erste dieser beiden Teile handelt von dem Licht und den Lichtstrahlen „*sine respectu ad visum*“ und ist wieder in drei „*sectiones*“ gegliedert: *Sectio prima* handelt „*de ratione recta*“, d. h. von den Lichtstrahlen, die kein reflektierendes oder brechendes Mittel treffen, sondern geradlinig bleiben, und von dem Schatten. Zahlreiche Definitionen beginnen das erste Kapitel — die ganze Optik Tasses bringt mehr als hundert Erklärungen von in ihr gebrauchten Bezeichnungen — und darauf folgen sieben „*Hypothesen*“ über das eigentliche Wesen des Lichts, die erkennen lassen, dass Tasse ein Vertreter der

Emanationshypothese war. Besonders klar tritt die stoffliche Auffassung des Lichtes aus der sechsten hervor: „Lumen lumini additum fit fortius; subtractum debilius“. Das zweite Kapitel handelt „de Luminis profusione et obsectorum illustratione“ und enthält dreizehn „theoremata“, unter denen sich z. B. die Folgerungssätze befinden, dass die Beleuchtung abhängig von dem Winkel ist, unter dem die Strahlen auffallen, und dass man die Sonnenstrahlen als unter sich parallel ansehen kann. Zum Schluss wird die Aufgabe gelöst, den Teil der Oberfläche einer Kugel zu bestimmen, der von einer anderen leuchtenden Kugel, die nicht dieselbe Grösse mit ihr hat, erleuchtet wird. Im dritten Kapitel wird „de progressu luminum et congressu mutuo“ die „Spezialhypothese“ aufgestellt, dass die von zwei verschiedenen leuchtenden Punkten ausgehenden Lichtstrahlen sich in keinerlei Weise stören. Ein „monitum“ am Schlusse macht darauf aufmerksam, dass über die Abnahme der Lichtintensität mit der Entfernung drei Meinungen herrschen: entweder ist diese Abnahme direkt proportional der Entfernung, oder ihrem Quadrate, oder ihrem Cubus. Tasse bekennt sich zur zweiten Ansicht, indem er, wie ausdrücklich hervorgehoben wird, sich der Meinung der bedeutendsten Optiker anschliesst. Das vierte Kapitel bespricht den Fall, wo Lichtstrahlen durch ein kleines Loch in einer undurchsichtigen Wand auf einem Schirm ein Bild hervorrufen. Die Form des Bildes ist von der Form des Loches, die Grösse von der Entfernung des Schirmes abhängig. Besonders wird darauf aufmerksam gemacht, dass das Bild auf dem Schirm (exceptorium) aus unendlich vielen dem Loche (foramen) ähnlichen Figuren besteht. Das fünfte Kapitel endlich handelt von der Entstehung des Schattens, unterscheidet den Kernschatten (umbra plena) von dem Halbschatten (umbra intereisa sive penumbra) und giebt auch einige Schattenkonstruktionen.

Die „sectio secunda“ ist den Erscheinungen bei der Reflexion gewidmet (anaclastica). Unter den Definitionen des ersten Kapitels ist die des Einfallswinkels und Reflexionswinkels bemerkenswert, die nicht auf das Einfallslot (cathetus incidentiae) bezogen werden, sondern die Winkel sind, die der einfallende, resp. reflektierte Strahl mit der reflektierenden Fläche bilden. Die zweite der „hypotheses“ sagt aus, dass diese beiden Winkel gleich sind. Das zweite Kapitel behandelt die Reflexion am Planspiegel. Von Interesse ist das siebente der angeführten Theoremata, das den alten Heron'schen Satz ausspricht, dass die dem Reflexionsgesetz folgenden Geraden kleiner sind als alle diejenigen, die unter ungleichen Winkeln zwischen zwei Punkten gezogen werden können. Einen Beweis hierfür finden wir aber bei Tasse nicht. Das dritte und vierte Kapitel behandeln die Reflexion an sphärischen Konvex- und Konkavspiegeln. Wohl wird gesagt, dass, wenn der leuchtende Punkt in der Mitte zwischen dem Spiegel und Mittelpunkt liegt, die reflektierten Strahlen parallel der Axe sind, doch wird der Brennpunkt nicht als besonderer wichtiger Begriff eingeführt. Die „problemata“ der Kapitel zwei bis vier beschränken sich auf die Zeichnung reflektierter Strahlen bei gegebenem einfallenden Strahl.

Die „sectio tertia“ der Photonik bespricht die „Diaclastica“, d. h. die Erscheinungen bei der Brechung. Das erste Kapitel ist wieder nur Definitionen und allgemeinen Hypothesen gewidmet. Die Linse heisst perspicillum; die Bezeichnung lens bleibt auf die bikonvexe Linse beschränkt, die einfach perspicillum convexum genannt wird, wie unsere bikonkave perspicillum cavum. Doch unterscheidet er auch plankonvexe, plankonkave und kavokonvexe Linsen als „perspicilla mixta“. Bei der Brechung wird der „angulus refractus“, unser Brechungswinkel, von dem „angulus refractionis“ unterschieden, d. h. dem Winkel, den der rückwärts verlängerte gebrochene Strahl mit dem einfallenden Strahl bildet. Für die Brechung in Krystall und in venetianisches Glas führt er bei den Hypothesen (!) an, dass der angulus

refractionis für Einfallswinkel bis zu 30 Grad ungefähr ein zehntel dieses Winkels betrage und dass der obere Grenzwert dieses *angulus refractionis* 48 Grad sei. Er beruft sich hierfür auf Kepler und verweist betreffs der Brechung an anderen durchsichtigen Medien auf den schon erwähnten Witelo.⁵²⁾ Das Brechungsgesetz erhält in der fünften Hypothese die Fassung, dass die Sinusse zweier Einfallswinkel in demselben Verhältnis stehen wie die Sinusse der zu ihnen gehörigen Brechungswinkel. Das zweite Kapitel bespricht die Brechung an einer ebenen Fläche: Der senkrecht auffallende Strahl geht ungebrochen hindurch; der Brechungswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel beim Übergang vom dünneren ins dichtere Medium und umgekehrt; die Leuchtkraft des gebrochenen Strahles ist geschwächt. Zwei Probleme geben die Konstruktion des gebrochenen Strahles bei gegebenem einfallenden Strahl und gegebenem *angulus refractionis* und die aller möglichen gebrochenen Strahlen, wenn der Weg eines Lichtstrahls bekannt ist. Kapitel drei bis fünf beschäftigen sich der Reihe nach mit der Brechung bei Konvexlinsen, Konkavlinsen und bei einer durchsichtigen Vollkugel. Auch hier ist der Begriff „Brennpunkt“ noch nicht entwickelt, obwohl angeführt wird, dass die parallel der Axe auffallenden Strahlen sich in einem Punkte der Axe vereinigen und die Lage dieses Punktes bei einer Krystalllinse als „*sesquidiametro fere convexitatis*“ bestimmt wird.

Der zweite Hauptabschnitt, die „*Photomatica*“ oder „*Optica strictae dietae*“ zerfällt wieder in drei *sectiones*, die von den Bildern der Gegenstände im Auge, der Entstehung von Bildern in den Spiegeln und durch Linsen handeln. Die Wirkungsweise des Auges wird in acht Kapiteln, die Katoptrik in drei, die Dioptrik in fünf Kapiteln erledigt. Von dem Auge lernen wir die Cornea und die Uvea (Regenbogenhaut) den humor aqueus zwischen beiden, die Pupille, die Krystalllinse (*humor crystallinus*) und die retina kennen. Die verschiedenen Krümmungsflächen der Linse werden besprochen, die vordere soll sphärisch, die hintere hyperbolisch sein. Die Begriffe kurzsichtig (*myops*) und weitsichtig (*presbyta*) werden in der üblichen, populären Weise erklärt, ohne dass auf die Ursachen dieser Fehler näher eingegangen wird. Dagegen finden sich viele treffende Bemerkungen über die Bedingungen, unter denen die Bilder von Gegenständen klar und scharf oder verschwommen, hell oder dunkel erscheinen sowie über die Beurteilung der Entfernung von uns gesehener Gegenstände, z. B. über die scheinbare Nähe sehr deutlich sichtbarer Objecte und die scheinbar grosse Entfernung uns nur verschwommen und unklar sichtbarer Gegenstände, über die scheinbar gleiche Entfernung aller Sterne. Bei der Besprechung der Lage, Grösse und Gestalt der Bilder im Auge werden die wichtigsten Grundlehren der Perspektive gegeben. Dass wir einen Gegenstand doppelt sehen, wenn er zu den optischen Axen beider Augen verschiedene Neigung hat, wie durch gewaltsame Verschiebung eines Augapfels leicht zu erreichen ist, wird ausführlich besprochen. Auch wird der Fall erörtert, wo zwei Gegenstände nur ein Bild geben, wobei er eine Ansicht des Gassendi (*celebris in Gallia philosophus*) bekämpft.

Die folgenden katoptrischen und dioptrischen Untersuchungen Tasses erscheinen uns umständlich und sind auch manchmal schwer verständlich, weil er eine uns ungewohnte Betrachtungsweise anwendet. Der Gang der vom Objekt ausgehenden Lichtstrahlen wird nicht geometrisch verfolgt, die Lage des Bildes in den einzelnen Fällen nicht zeichnend festgestellt, sondern er formuliert alle *theoremata* so, dass er angiebt wie ein Gegenstand dem Auge erscheint, wenn dieses zum Spiegel oder zur Linse verschiedene Lagen einnimmt, während der Ort des Gegenstandes ebenfalls ein wechselnder ist, und wie das Bild sich ändert, wenn das Auge oder der Gegenstand sich bewegen. Dabei kommen alle uns

bekannten Gesetze über die Bilder bei Spiegeln und Linsen, „freilich in veränderter, oft kaum erkennbarer Form, zum Vorschein. Bei solcher Betrachtungsweise bleibt natürlich der Unterschied zwischen einem reellen und einem virtuellen Bilde verborgen. Beim Planspiegel beschränkt er sich auf die Konstruktion des Bildes unter Anwendung einer einzigen spiegelnden Fläche und verweist für die nur durch Benutzung mehrerer Spiegel lösbaren Probleme auf die Schriften des Witelo und anderer Optiker. Auf die Bedeutung der Konvexlinse für den Weitsichtigen und einer Konkavlinse für den Kurzsichtigen wird besonders aufmerksam gemacht, doch sind die Brillen nirgends erwähnt. Ebenso wenig findet sich eine Hindeutung auf die Lupe oder das Mikroskop, doch beschreibt er die Konstruktion einer Camera obscura mit convexem Objektiv. Zwar lehrt er die Vereinigung zweier Konvexlinsen, um ein vergrössertes umgekehrtes Bild zu erhalten, und die einer konkaven und einer konvexen Linse behufs Gewinnung eines vergrösserten aufrechten Bildes, doch weist er nur bei der letzteren auf ihre Verwendung zum Fernrohr (telescopius) hin, scheint demnach das astronomische Fernrohr nicht zu kennen. Die Vereinigung von Linsen mit Spiegeln zu ähnlichen Zwecken kennt er noch nicht. Er erörtert endlich auch den Fall, wo der betrachtete Gegenstand in einer Glas- oder Wasserkugel sich befindet oder durch eine solche hindurch gesehen wird, und macht ganz zum Schluss kurz darauf aufmerksam, dass die Regenbogenfarben zum Vorschein kommen, wenn man durch einen „globus aqueus“ zur Sonne sieht. Dabei entgeht ihm nicht, dass diese Farben in umgekehrter Reihenfolge auftreten, wie beim Regenbogen selber. Eine genauere Erklärung für diese Erscheinung giebt er nicht.

Ausser der hier ziemlich ausführlich mitgeteilten Statik und Optik findet sich in Tasses Lehrbüchern Physikalisches nur noch in dem kleinen Kapitel: „De aquarum Deductione“, wo die Grundgesetze über das Gleichgewicht und die Bewegung flüssiger Körper mitgeteilt werden, und in dem Kompendium der Geographie, wo von den Winden die Rede ist, ohne dass ihre Ursache irgendwie aufgedeckt wird, und wo bei Gelegenheit des Kompasses vom Magnetismus, magnetischen Körpern und der Deklination gesprochen wird. Die Lehren vom Magnetismus, von der Elektrizität und von der Wärme waren, wie die kurze Übersicht über die geschichtliche Entwicklung der Physik zeigt, erst im Anfangsstadium, liessen noch keine mathematische Behandlungsweise zu und fehlen daher nach unter den Disziplinen der „mathesis mixta“.

Was schliesslich die Lehrmethode betrifft, die man in der mathesis mixta befolgte, so war sie rein dogmatisch. Eine experimentelle Vortragsweise war bei dem damals sogar auf allen Universitäten herrschenden Mangel an physikalischen Apparaten ganz unmöglich, an eine experimentelle Herleitung der allgemeinen physikalischen Gesetze war also auf den Gelehrtschulen erst recht nicht zu denken. Diese wurden eben als feststehende Tatsachen mitgeteilt, auf mathematischem Wege wurden Deduktionen daraus abgeleitet, und die Richtigkeit dieser durch die Erfahrungen im täglichen Leben oder gelegentlich wohl auch durch ein Experiment bestätigt. Diese Vortragsweise ist, beiläufig gesagt, mehr als zwei Jahrhunderte hindurch bis in die Neuzeit hinein die herrschende geblieben. Nicht die Entwicklung physikalischer Einsicht und Erkenntnis, sondern die ledigliche Übermittlung physikalischer Kenntnisse war das Unterrichtsziel.

Vergleicht man die Kompendien Tasses mit der gegen Ende des siebzehnten Jahrhunderts erscheinenden „Mathesis juvenilis“ des Altorfer Professors Sturm⁵³), die als Lehrbuch am St. Aegidiengymnasium in Nürnberg gebraucht wurde, so fällt zunächst die Verschiedenheit der Darstellungsweise der Optik auf. War Tasse anscheinend durch die rein

mathematische Behandlung dieser Disziplin bei den Optikern des Altertums, z. B. Euklides und Heron, beeinflusst worden, die er jedenfalls durch das Studium des Witelo kennen gelernt hatte, so stand Sturm mehr unter dem Einflusse des Galilei und seiner „discorsi“. Die ganze „Optik oder Sehkunst“ wird in der Form von Fragen und Antworten behandelt. Auch hier werden drei Abteilungen unterschieden, jenachdem die Strahlen direkt, reflektiert oder gebrochen ins Auge gelangen: Die „Optica“ oder „gerad ordentliche Sehensart“, die Catoptrica oder „wiederstrahlende Sehkunst“ und die „Dioptrica“, d. h. „Durchstrahlende oder Durchsehkunst“. Das Buch ist in deutscher Sprache geschrieben, zahlreiche erläuternde Figuren und Abbildungen sind beigegeben und diese beiden Umstände sowie das gewählte System der Fragen und Antworten verleihen der Mathesis juvenilis des Sturm jedenfalls den Vorzug der für einen Schüler leichteren Verständlichkeit und Anschaulichkeit. Freilich stehen die Fragen in keinem streng logischen Zusammenhang, sondern sind oft rein willkürlicher Art. Dass er mit der Wirkungsweise einer Camera obscura beginnt, um daran die Entstehung der Bilder im Auge zu erläutern und die Vorzüge dieser natürlichen Dunkelkammer unsers Sehwerkzeugs gegenüber einer künstlichen ins rechte Licht zu setzen, ist als ein Fortschritt zu bezeichnen. Noch mehr äussert sich aber der Fortschritt in dem Inhalt, wenn man den Umfang des Gebotenen wie die Ausführlichkeit der Erläuterungen in Betracht zieht, obwohl diese manchmal etwas breit und umständlich werden. Die Perspektiv wird sehr eingehend dargestellt und in vielen Aufgaben erläutert. Bei den Planspiegeln werden die Bilder in parallelen Spiegeln, Winkelspiegeln, Eckspiegeln fast übermässig ausführlich besprochen; für den Winkelspiegel wird der Zusammenhang zwischen der Zahl der Bilder und der Grösse des Winkels festgestellt, wenn auch nicht mathematisch genau bewiesen. Ausser den sphärischen Spiegeln werden auch cylindrische und kegelförmige in den Kreis der Betrachtung gezogen. In der Dioptrik finden wir das Mikroskop, die bekannten Ferngläser und die Sehröhren erwähnt, die Bezeichnungen Objektiv und Okular eingeführt, doch fehlen auch hier noch die Teleskope. Die „Wurfflaterne“ (laterna magica) und ihre wunderbaren „Würckungen“ werden mit unnötiger Breite behandelt. Zum Schluss wird noch in einem besonderen Artikel das Kriegsglas (angiscopio oder polimoscopio) besprochen, eine Art Winkelfernrohr, bei welchem die durch die Objektivlinse eintretenden Strahlen durch einen unter einem Winkel von 45° geneigten Planspiegel in eine zur ursprünglichen senkrechte Richtung abgelenkt werden und dann entweder sofort durch das Okular ins Auge gelangen oder erst durch einen ebensolchen Spiegel wieder der ursprünglichen Richtung parallel gemacht werden und dann durchs Okular ins Auge kommen. Warum dies Instrument gerade im Kriege von besonderem Nutzen sein soll, ist nicht recht ersichtlich⁵⁴), doch zeigt seine Erwähnung im Sturm'schen Lehrbuch, welchen Einfluss politische Ereignisse auf die Pflege der Wissenschaften haben und wie dieser Einfluss sich selbst in dem Inhalt der Lehrbücher äussert. Wie schwer die Erinnerung an die Gräuel des dreissigjährigen Krieges und der Druck der im siebzehnten Jahrhundert fast unaufhörlich wütenden Kriege auf Geist und Gemüt der Menschen lasteten, spiegelt sich in der Thatsache wieder, dass von allen mathematischen Disziplinen die „ars fortificatoria“ oder Befestigungskunst von den Zeitgenossen am höchsten geschätzt wurde, in ihren Augen als die „fürnehmste Wissenschaft“ galt und daher auch in keinem um die Wende des siebzehnten Jahrhunderts entstandenen Lehrbuch der gesamten Mathesis fehlt. Wenn jene Kriegszeiten nicht gewesen wären, würde auch schwerlich das „Kriegsglas“ diesen Namen erhalten haben und eine besondere Stelle in der Optik des Altorfer Professors der Mathematik einnehmen.

Die bisherigen Mitteilungen aus dem Inhalt der beiden am Johanneum in Hamburg und am St. Aegidiengymnasium in Nürnberg gebrauchten Lehrbücher der Mathesis, lassen zur Genüge erkennen, was den Schülern der obersten Klassen beider Anstalten an physikalischen Kenntnissen übermittelt wurde. Wie die genannten Schulen die ersten waren, bei denen sich schon in der ersten Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts Spuren mathematischen Unterrichts nachweisen lassen, so sind sie auch die ersten, bei denen etwa anderthalb Jahrhunderte später nachweislich in der mathesis applicata eine Art physikalischen Unterrichts gegeben wurde. Inwieweit andere Gelehrtschulen schon in siebzehnten Jahrhundert ihrem Beispiele folgten, lässt sich kaum feststellen; nur von den Ritterakademieen wissen wir, dass auch sie diese Disziplinen pflegten, doch gingen sie den vorhandenen Nachrichten zufolge nicht über den Rahmen des hier Mitgetheilten hinaus.

Der Ausgang des siebzehnten Jahrhunderts bezeichnet den Beginn des Zeitalters der Aufklärung. Die für diese Zeit charakteristische Geistesrichtung ist der Sinn für das Nützliche, der allmählich auch auf die Lateinschulen umgestaltend einwirkt. Unter der Herrschaft des Nützlichkeitsprinzips also und unter der Bezeichnung „Angewandte Mathematik“ beginnt unsere Physik im Zeitalter der Aufklärung in dem Unterricht der höheren Schulen allmählich Boden zu gewinnen.

Anmerkungen.

- 1) Die Physik des Aristoteles (384—322) umfasst acht Bücher. Das erste enthält geschichtliche Notizen über die Naturphilosophien vor Aristoteles und seine eigenen Lehren über die Prinzipien der Dinge. Das zweite definiert die Natur und spricht über die 4 Ursachen der Dinge: *causa formalis* (Wesen), *causa materialis* (Stoff), *causa efficiens* (Bewegung) *causa finalis* (Zweck). Das dritte beschäftigt sich mit der Bewegung, das vierte behandelt den Wurf und die letzten vier Bücher handeln von den verschiedenen Arten der Bewegung (natürliche, gewaltsame, geradlinige, kreisförmige) cf. die Übersetzung von Aristoteles' Physik durch Prantl. Die andern physikalischen Schriften des Aristoteles sind die vier Bücher über den Himmel, die zwei Bücher über Entstehen und Vergehen, die vier Bücher über Meteorologie, die mechanischen Probleme und die sogenannten *parva naturalia*. cf. auch Gerland und Traumüller, die Geschichte der physikalischen Experimentierkunst S. 17—24.
- 2) Solche Vorboten waren z. B. Roger Bacon (1214—1294), der schon mit aller Entschiedenheit für die Physik die Experimentalmethode forderte, Nikolaus von Cusa (1401—1463), der schon alles Erkennen als Messen erklärte, und Leonardo da Vinci (1452—1519). Gegner des Aristoteles waren Ramus (1502—1572) Telesius (1508—1588).
- 3) Ktesibios war aus Ägypten (Askra) gebürtig, Heron aus Alexandrien, Philon aus Byzanz. Über die Zeit, wann Heron lebte cf. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst S. 32, 33, wo auch Litteraturnachweis.
- 4) Den Windkessel erhielt die Feuerspritze erst durch den Nürnberger Zirkelschmidt Hans Hautsch († 1670), einen „inventiösen und künstlichen Mann“ cf. Neudörffer: Nachrichten von Nürnberger Künstlern, so innerhalb hundert Jahren in Nürnberg gelebt haben, 1546, fortgesetzt 1660 von Gulden.
- 5) u. 6) cf. Gerland und Traumüller a. a. O. Seite 52, 53.
- 7) Frontinus (40—103) war unter Nerva mit der Oberaufsicht über die Wasserleitungen in Rom beauftragt, schrieb: *De aquaeductibus Urbis Romae*.
- 8) Synesios war Bischof von Ptolemais, beschreibt den Apparat zum ersten Male in einem Briefe an Hypatia, die unglückliche Tochter Theons, die 415 bei dem Aufstande des christlichen Pöbels in Alexandrien aufs Grausamste ermordet wurde. Der eigentliche Erfinder des Aräometers ist unbekannt. Anfangs hielt man nach Musschenbroëks Angabe Archimedes dafür. cf. Wiedemanns Annalen Bd. 1: Gerland, zur Geschichte der Erfindung des Aräometers.
- 9) Pappus hinterliess acht Bücher mathematischer Sammlungen; im achten finden sich jene „mechanischen Potenzen“ behandelt.

- ¹⁰⁾ cf. Wiedemann's Annalen Bd. 20: Arabische spezifische Gewichtsbestimmungen und Khanikoff: Analysis and Extracts of „Book of the Balance of wisdom“ Journ. of the American orient. Society 1860 Bd. 6 S. 1—128.
- ¹¹⁾ cf. Gerland und Traumüller, a. a. O. S. 73.
- ¹²⁾ cf. Gerland und Traumüller a. a. O. S. 78, 79.
- ¹³⁾ Über die Geschichte der Räderuhren cf. Gerland und Traumüller, a. a. O. S. 80, 81, wo auch Litteraturnachweis.
- ¹⁴⁾ Die Arbeiten da Vincis blieben Jahrhunderte lang unbekannt. Er hatte sie einem Freunde hinterlassen, dessen Erben sie nicht zu schätzen wussten, sodass sie in verschiedene Städte Italiens zerstreut wurden. 1796 kam ein grosser Teil nach Paris, der nur zum Teil wieder zurückgegeben wurde. So finden sich seine nachgelassenen Papiere in Paris, London, Mailand, Rom und Florenz zerstreut. Erst am Ende des achtzehnten Jahrhunderts begann man sie zu studieren und der Vergessenheit zu entziehen.
- ¹⁵⁾ Boëthius, Fünf Bücher über Musik, übersetzt von Paul, Leipzig 1880.
- ¹⁶⁾ cf. Rosenberger, Geschichte der Physik, Bd. I. S. 114.
- ¹⁷⁾ Von dem berühmten Geometer der Alten, der um 300 v. Chr. lebte, rührt auch eine „Optik“ her.
- ¹⁸⁾ Claudius Ptolemaios (70—147) fasste die optischen Kenntnisse seiner Zeit in seinem Buche: Opticorum sermones quinque zusammen. Die von ihm gefundenen Werte für Luft und Wasser sind mitgeteilt in Gerland und Traumüller a. a. O. S. 57.
- ¹⁹⁾ Al Hazen's Optik wurde 1572 von Risner in lateinischer Übersetzung herausgegeben: Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII.
- ²⁰⁾ Witelos Optik wurde zusammen mit der Alhazens im gleichen Jahre (1572) von Risner herausgegeben. Eine Tabelle der von ihm gefundenen Werte für die Brechungswinkel findet sich bei Gerland und Traumüller a. a. O. S. 77.
- ²¹⁾ Eine Grabschrift in der Kirche Maria maggiore in Florenz lautet: „Hier ruht Salvino degli Armati aus Florenz, der Erfinder der Augengläser. Gott verzeihe ihm seine Sünden. 1317.“ cf. Poggendorff, Geschichte der Physik, 1879. S. 94, 95.
- ²²⁾ Wiedemanns Annalen Bd. 39. S. 565.
- ²³⁾ Das Werk des Predigermönches Theoderich aus Freiberg über die Optik blieb Jahrhunderte lang im Kloster zu Basel verborgen, wurde erst 1814 ans Licht gezogen cf. Rosenberger, Geschichte der Physik Band I, S. 105.
- ²⁴⁾ Maurolykus war Abt des Klosters Santa Maria del Porta bei Castra nuovo, wird daher auch M. della Porta genannt. Er ist nicht zu verwechseln mit seinem jüngeren Landsmanne Giambattista della Porta, dem angeblichen Erfinder der Camera obscura, der 1538—1615 lebte. cf. Gerland u. Traumüller a. a. O. S. 87 u. 88, wo auch Litteraturnachweis.
- ²⁵⁾ cf. Gerland u. Traumüller a. a. O. S. 44.
- ²⁶⁾ cf. Wiedemann Annalen 1878. Bd. 4. S. 320.
- ²⁷⁾ cf. Raumer. Gesch. d. Pädagogik 6 Aufl. 1890. Bd. I, S. 286 u. 287.
- ²⁸⁾ Der Titel lautet: Initia Doctrinae Physicae. Dictata in academia Witebergensi. Sie ist dem Bürgermeister von Nordhausen Michael Meyenburg gewidmet. Die Vorrede der ersten Ausgabe zeigt das Jahr 1542. Das mir vorliegende Exemplar ist von der zweiten Auflage im Jahre 1563. Der Inhalt ist in drei Bücher gegliedert. Das erste handelt: de Deo, de Mundo, de Coelo, de Eclipsibus, de Planetis. Das zweite: de Principiis, de Re Naturali, de Caussis, de Stellis, de Fato, (Melanchthon war Anhänger der Astrologie)

de Causa Finali, de Motu. Das dritte: de Elementis, de Qualitatibus, de Mixtione, de Coctione, de Augmentatione, de Putrefactione.

- 29) Der vollständige Titel lautet: Physice, sive potius syllogae physicae rerum eruditarum ad omnem vitam utilium, ineundarum et variarum, testimoniorum Graecorum et Latinorum veterum atque recentium eruditorum scriptorum varietate fere conditae et illustratae. Das mir vorliegende Exemplar ist vom Jahre 1591, während die Widmung vom Jahre 1583 datiert ist.
- 30) Sacro busto ist nur eine andere Schreibart für Sacrobosco. Sein eigentlicher Name ist Johannes von Holyrood (in Yorkshire). Ueber den Inhalt seines Lehrbuches cf. des Verfassers Programmhandschrift vom Jahre 1898. S. 12.
- 31) Tartaglia (1506—1559), nach dem eigentlich die Cardanische Formel für die Lösung kubischer Gleichungen heissen müsste, beschäftigte sich mit dynamischen Aufgaben, bei denen er z. B. schon das Gesetz ausspricht, dass die horizontale Wurfweite bei einem Elevationswinkel von 45° am grössten ist. Hinsichtlich seiner Arbeiten an dem ballistischen Problem cf. Gerland und Traumüller a. a. O. S. 109.
- 32) Cardanus war nicht blos in der Mathematik thätig, sondern veröffentlichte auch Arbeiten über Physik, Philosophie und Medizin. Er untersuchte die schiefe Ebene, ohne zu dem richtigen Gesetz zu gelangen.
- 33) Telesius (1508—1588) gründete sogar eine Gesellschaft zur Bekämpfung der Naturphilosophie des Aristoteles, die Academia Telesiana oder Consentina. cf. Rosenberger a. a. O. Bd. I. S. 126.
- 34) J. Baptista Benedetti (1530—1590) aus Venedig, Mathematiker des Herzogs von Savoyen, arbeitete ebenfalls erfolglos an der Lösung des ballistischen Problems. Auch bei Gerland u. Traumüller, a. a. O. S. 109 erwähnt.
- 35) Giordano Bruno (1550—1600) Dominikanermönch, eifriger Gegner des Aristoteles, aber kein physikalischer Forscher sondern mehr Philosoph, bald in Genf, in Paris, in England, dann in Helmstedt und in Venedig. Hier gefangen gesetzt und nach langer Haft lebendig verbrannt.
- 36) Als 68 jähriger Greis vor das Inquisitionsgericht nach Rom geladen, obwohl kränklich eingekerkert, nach 10 Tagen freilich der Kränklichkeit halber entlassen, mit der Folterung und dem Feuertode bedroht, vielleicht sogar wirklich gefoltert, musste er am 23. Juni 1636 seine „Irrtümer“ abschwören und blieb bis zu seinem Tode unter beständiger Bewachung zweier jesuitischer Priester.
- 37) Das Diktum stammt aus Vergil, Aeneis VI, 727.
- 38) cf. Galileis Discorsi, Bd. 11, 24, 25 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. cf. auch Gerland u. Traumüller a. a. O. S. 119.
- 39) Über Stevins Bedeutung für die Mechanik cf. Mach.: die Mechanik in ihrer Entwicklung. 3. Aufl. Leipz. 1897, S. 26. In demselben Werke finden die mechanischen Arbeiten der andern hier genannten Männer, Galilei, Huyghens, Marci, Newton ihre beste Würdigung und klarste Darlegung.
- 40) Olaf Römer, Däne von Geburt, war durch Picard nach Paris gekommen, wo er mit Cassini auf der Sternwarte die Beobachtungen an den Jupitersmonden anstellte, die ihn zu der Annahme führten, dass das Licht eine endliche Geschwindigkeit, etwa gleich 40000 Meilen, habe. Cassini gab diese Ansicht später auf, Römer hielt an ihr fest.
- 41) Snellius hatte dem Brechungsgesetz die Form gegeben, dass das Verhältniss des Kosinanten konstant ist. Er starb jedoch, ehe er es hatte veröffentlichen können. So kam

- ¹⁰⁾ cf. Wiedemann's Annalen Bd. 20: Arabische spezifische Gewichtsbestimmungen und Khanikoff: Analysis and Extracts of „Book of the Balance of wisdom“ Journ. of the American orient. S.
- ¹¹⁾ cf. Gerland und T.
- ¹²⁾ cf. Gerland und T.
- ¹³⁾ Über die Geschichte
wo auch Litteratur
- ¹⁴⁾ Die Arbeiten da
Freunde hinterlasse
schiedene Städte It
nur zum Teil wied
in Paris, London,
Jahrhunderts bega
- ¹⁵⁾ Boëthius, Fünf Bü
- ¹⁶⁾ cf. Rosenberger, G
- ¹⁷⁾ Von dem berühm
„Optik“ her.
- ¹⁸⁾ Claudius Ptolema
Buche: Opticorum
Luft und Wasser
- ¹⁹⁾ Al Hazen's Optik
Opticae Thesaurus
- ²⁰⁾ Witelos Optik wur
herausgegeben. E
findet sich bei Ge
- ²¹⁾ Eine Grabschrift
degli Armati aus F
1317.“ cf. Pogge
- ²²⁾ Wiedemanns Anna
- ²³⁾ Das Werk des P
hunderte lang im
cf. Rosenberger, G
- ²⁴⁾ Maurolykus war A
auch M. della P
Landsmanne Gian
der 1538—1615
Litteraturnachweis
- ²⁵⁾ cf. Gerland u. Tr
- ²⁶⁾ cf. Wiedemann A
- ²⁷⁾ cf. Raumer. Ges
- ²⁸⁾ Der Titel lautet:
dem Bürgermeiste
ersten Ausgabe ze
Auflage im Jahre
de Deo, de Munde
Re Naturali, de C

Traumüller, a. a. O. S 80, 81,

unbekannt. Er hatte sie einem
ätzen wussten, sodass sie in ver-
ein grosser Teil nach Paris, der
sich seine nachgelassenen Papiere
Erst am Ende des achtzehnten
vergessenheit zu entziehen.
l, Leipzig 1880.

100 v. Chr. lebte, rührt auch eine

Kenntnisse seiner Zeit in seinem
ie von ihm gefundenen Werte für
müller a. a. O. S. 57.

scher Übersetzung herausgegeben:

gleichen Jahre (1572) von Risner
en Werte für die Brechungswinkel

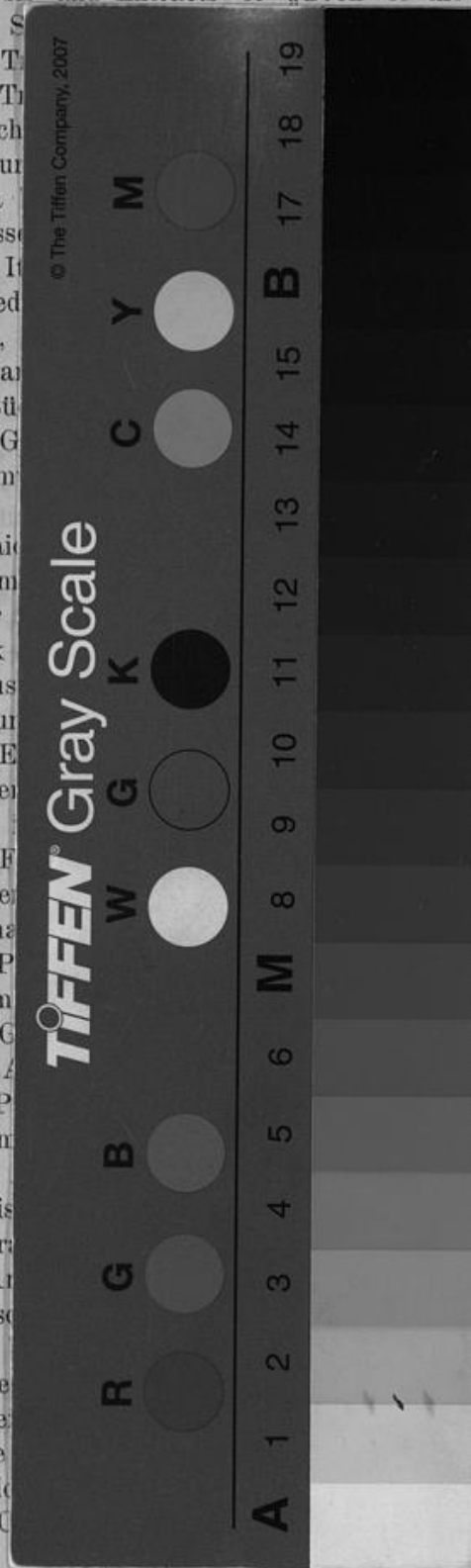
lorenz lautet: „Hier ruht Salvino
Gott verzeihe ihm seine Sünden.
S. 94, 95.

berg über die Optik blieb Jahr-
le erst 1814 ans Licht gezogen
5.

orta bei Castra nuovo, wird daher
erwechseln mit seinem jüngeren
en Erfinder der Camera obscura,
a. a. O. S. 87 u. 88, wo auch

I, S. 286 u. 287.

in academia Witebergensi. Sie ist
urg gewidmet. Die Vorrede der
ende Exemplar ist von der zweiten
er gegliedert. Das erste handelt:
tis. Das zweite: de Principiis, de
thon war Anhänger der Astrologie)



- es, dass Cartesius dieses Gesetz zuerst veröffentlichte; dieser gab ihm auch die uns geläufige Form. cf. Gerland u. Traumüller a. a. O. S. 123, 124.
- 42) Des Ratic „Physica“ oder „Allgemeine Naturkündigung“ habe ich nicht zu Gesicht bekommen können. cf. hierüber Raumer a. a. O. Bd. II S. 390. Das mir vorliegende Exemplar der „Physica“ des Comenius trägt die Jahreszahl 1643.
- 43) Ludwig Vives (1492—1540), geb. zu Valencia, gest. zu Brügge, berühmter spanischer Humanist und pädagogischer Schriftsteller. Erzieher der Prinzessin Maria von England am Hofe Heinrichs VIII. Campanella (1568—1639) cf. Raumer a. a. O. II S. 54. Anm.
- 44) cf. hierüber Raumer a. a. O. Bd. II S. 191 und Vormbaum, Evangelische Schulordnungen Bd. II.
- 45) cf. Paulsen, Gelehrter Unterricht S. 340.
- 46) cf. Hentschel, Programm der Realschule in Döbeln. 1876. S. 60.
- 47) cf. Paulsen a. a. O. S. 336.
- 48) cf. Vormbaum, Evangelische Schulordnungen Bd. II.
- 49) cf. das Programm des Verfassers vom Jahre 1898.
- 50) cf. Guhrauer, Jungius und seine Zeit.
- 51) Es ist der Marquis Guido Ubaldo del Monte (1545—1607) gemeint, Generalinspektor der Festungen in Toskana, der Gönner des jungen Galilei, der alle einfachen Maschinen auf das Prinzip des Hebels zurückzuführen suchte, cf. Gerland und Traumüller a. a. O. S. 109.
- 52) cf. Anmerkung 20.
- 53) Der erste Band des Lehrbuches von Sturm erschien 1699 und umfasst eine Algebra, Trigonometria, Geometria, Architectura militaris et civilis; der zweite Band erschien 1701 und enthält eine Optica, Catoptrica, Dioptrica, Astronomia, den Computus ecclesiasticus d. h. die Berechnung der kirchlichen Feste, eine Chronologia, Calendariographia, Hero-graphia und Gnomonica. Die Statik fehlt also in diesem Lehrbuche gänzlich.
- 54) Weshalb man dies Instrument für besonders gut brauchbar im Kriege hielt, war vielleicht der Umstand, dass man damit gleichsam um die Ecke sehen konnte, dass es also eine völlig gedeckte Aufstellung des Beobachters ermöglichte.

Anmerkung des Verfassers.

Die Fortsetzung der Arbeit wird im Jahre 1904 erscheinen.