Gymnasium zu Heidelberg.

Jahresbericht

für

das Schuljahr 1884—85.

Zugleich Einladung

zu der am 30. und 31. Juli stattfindenden öffentlichen Prüfung und zu der Schlussfeierlichkeit am Nachmittag des 1. August.

Inl. Henrici Die Erforschung der Schwere u.s.w.

REALGYMNASIUM DÜSSELDORF BIBLIOTHEK

Heidelberg.
Buchdruckerei von Georg Mohr.
1885.

(1885. Programm. Nr. 551.)

4he
4 (1885)

573,10

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK DÜSSELDORF

Inhalt.

I. Chronik.
II. Die Verteilung des Unterrichts und die durchgenommenen Lehraufgaben.
III. Statistik.
IV. Die öffentlichen Prüfungen und die Schlussfeierlichkeit.
V. Der Wiederbeginn des Unterrichts und die Aufnahmebedingungen.

I. Chronik der Anstalt.

Eingetreten ist im vorigen Herbst in unser Lehrerkollegium Lehramtspraktikant Dr. Karl Erhardt. Derselbe ist zu Heidelberg den 12. Januar 1859 geboren. Er besuchte die Gymnasien von Heidelberg und Schwäbisch Hall, studierte vom Herbst 1878 an zu Heidelberg und London (University College) vorwiegend neuere Sprachen, promovierte Januar 1883 an der philosophischen Fakultät der Heidelberger Universität, hörte sodann Vorlesungen an der Universität von Paris und bestand April 1884 sein philologisches Staatsexamen. Vom 1. Mai 1884 bis zum Herbst war er an der hiesigen Realschule beschäftigt.

Dagegen verliess uns mit Beginn des ablaufenden Schuljahres zu unserem lebhaften Bedauern unser werter Kollege Professor Dr. Wilhelm Behaghel, um dem ehrenden Wunsch der Oberschulbehörde entsprechend die Leitung des Wertheimer Gymnasiums zu übernehmen. Er hatte unserer Anstalt seit dem 17. Oktober 1862, länger als irgend eines der gegenwärtigen Mitglieder des Kollegiums, angehört und hat sich durch sein Wesen und Wirken bei allen seinen Amtsgenossen und Schülern ein Andenken von festester Dauer gegründet.

Als israelitischer Religionslehrer für die unteren Klassen ist bei uns seit Neujahr Herr M. Kahn, Hauptlehrer an der hiesigen Volksschule, thätig.

Der wissenschaftliche Unterricht der Anstalt wurde an einem Tage des Wintersemesters und an zwei Tagen des Juli von Herrn Oberschulrat Dr. Wendt einer allseitigen Prüfung unterworfen. Von den Resultaten des Turnunterrichts nahm der Direktor der Grossh. Turnlehrerbildungsanstalt Herr Dr. Maul am 23. Juni Kenntnis.

Der Geburtstag Seiner Majestät des Kaisers wurde von der Schule in der hergebrachten Weise gefeiert. Die Festrede, welche Herr Dr. Debo hielt, beleuchtete die Thaten und Verdienste Friedrichs I., Markgrafen von Brandenburg. Voraus gingen Deklamationen von Schülern.

Am Nachmittag des 27. September v. J. wurde der Spielplatz des Gymnasiums eingeweiht. Der uns von dem verehrl. Stadtrat gütigst überlassene Grund und Boden ist unter der Leitung des Herrn Stadtbaumeister Schaber, der trotz starker Geschäftslast nicht müde wurde diesem Zwecke Zeit und Kraft zu opfern, in einer Weise hergerichtet worden, welche wohl Aller Erwartung übertraf. Die Kosten, welche die Ebenung und Trockenlegung des Bodens, die Errichtung eines Häuschens zur Aufbewahrung von Gerätschaften und eines Schutzdaches gegen den Regen, die Herstellung von Umfassungszäunen u. A. verursachten, sind zum Teil durch eine uns von Grossh. Oberschulrat zur Verfügung gestellte Summe, zum anderen Teil durch zahlreiche freundliche Beiträge von Eltern unserer Schüler (im Gesamtbetrage von 1370 Mark) gedeckt worden. Eine grosse Zahl von Geräten erhielten wir von Herrn Fabrikanten Hefft hierselbst zum Geschenk. Der Platz ist bei günstiger Witterung auch sehr häufig für den Turnunterricht benutzt worden. Am Mittwoch und Samstag Nachmittag waren für die einzelnen Klassen Stunden festgesetzt, während welcher im Beisein von Lehrern Spiele vorgenommen werden konnten. Aber auch an den übrigen Nachmittagen ist die gute Gelegenheit, Körper und Geist zu erfrischen, von Schülern mittlerer und oberer Kurse häufig benutzt worden. Einige Verbesserungen der Anlage sollen in den bevorstehenden Ferien vorgenommen werden, sowie auch vor Beginn des nächsten Kurses eine Anzahl neuer Geräte beschafft sein wird.

Ungleich weniger, als im Winter 1883—84, ist von unseren Zöglingen in dem letztvergangenen von der Gelegenheit Gebrauch gemacht worden, die Anfänge des Drechsler- oder Buchbinderhandwerks zu erlernen. Trotzdem werden wir uns auch in Zukunft um eine solche bemühen, sobald die Teilnahme einer bestimmten Anzahl gesichert ist, da wir aus Gesprächen mit Manchen, welche sich in ihrer Jugend neben gymnasialer Vorbildung Fertigkeit in einem leichten Handwerk erworben hatten, wissen, wie lieb es ihnen später gewesen, einen Teil ihrer Freizeit in den Schuljahren auf diese Weise verwandt zu haben.

An Mussestunden zu solcher Beschäftigung gebricht es jedenfalls unseren Schülern nicht. Darüber ist der Unterzeichnete durch wiederholte Versicherungen, welche ihm in den letzten Jahren Eltern über die häuslichen Arbeiten ihrer Söhne gemacht, nicht in Zweifel, Versicherungen, welche zum Teil von dem Ausdruck des Wunsches begleitet waren, dass die Schule etwas mehr Ansprüche an die Zeit ihrer Zöglinge stellen möchte.

Dem entsprechend ist auch der Besuch der fakultativen Unterrichtsfächer wieder ein recht zahlreicher gewesen. Am Englischen nahmen aus der Oberprima 9, aus Unterprima 10, aus Obersecunda 16, aus Untersecunda 37 teil. An dem für die oberen Klassen jetzt eingerichteten Zeichencursus beteiligten sich 16 Primaner und 14 Secundaner. (Welchen Angaben auch beigefügt werden mag, dass der von einem Oberprimaner gegebene stenographische Cursus 15 Teilnehmer aus der Secunda zählte.)

Ausflüge sind in diesem Jahre wiederum verschiedene von einzelnen oder vereinigten Klassen mit einem oder mehreren ihrer Lehrer unternommen. Samstag der 13. Juni wurde zu solchem Zweck der ganzen Schule freigegeben.

Schulgeldbefreiung war durch die Erlasse Gr. Oberschulrats vom 29. Okt. 1884, vom 7. u. 30. Januar u. 13. Mai 1885 im Ganzen 44 Schülern gewährt worden. Der ganze Betrag wurde erlassen sieben, drei Viertel acht und zwanzig, die Hälfte neun Petenten.

Stipendien wurden im Schuljahr 1883—84 zweiundzwanzig Schülern im Gesamtbetrage von 2411 Mark erteilt, und zwar:

1. Vom Grossh. Oberschulrat:	
a. Aus dem Neckarschulstipendienfonds einem Primaner evangel. Conf. 400, zweien je 300, einem Primaner u. zwei Secund. je 150 M.	ℳ 1450. —.
b. Das Mühling'sche Stipendium einem Obertert. kath. Confession	ℳ 60. —.
2. Vom Erzbisch. Ordinariat katholisch-theologische Stipendien: zwei Obertertianern je 80, einem 70 M.	ℳ 230. —.
3. Von der kath. Stiftungskommission der Universität Heidelberg:	
a. Aus der Maier'schen Stiftung einem Unterprimaner . .	ℳ 100. —.
einem Sextaner	ℳ 50. —.
b. Aus der Trauninger'schen Stiftung einem Quartaner. . .	ℳ 300. —.
4. Von der Lehrerconferenz:	
a. Das Jubiläumsstipendium einem Oberprimaner . . .	ℳ 81. —.
b. Das Köster'sche Stipendium einem Obersecundaner und einem Untertertianer, zusammen	ℳ 80. —.
c. Das Haub'sche Stipendium einem Obertert., einem Quartaner und einem Sextaner kath. Confession	ℳ 60. —.
	ℳ 2411. —.

Preise erhielten bei dem letztjährigen Schlussakt nach Conferenzbeschluss folgende Schüler:

1. Den ersten Fauth'schen Preis, best. in Eckermanns Gesprächen mit Goethe, der Abit. Trolle.
2. Den zweiten Fauth'schen Preis, best. in „Rom u. röm. Leben im Altertum" v. H. Bender, d. Obersec. Hausrath.
3. Den Lauter'schen Preis, best. in einer Uebers. von Scott's Meteorologie, der Abit. Eitner.
4. Den Hautz'schen Preis, best. in Bertheau's Commentar zum B. der Richter, der Unterprim. Rothenhöfer.
5. Den ersten Cadenbach'schen Preis, best. in Schillers Leben von Düntzer, der Untersec. Beuerle.
6. Den zweiten Cadenbach'schen Preis, best. in Döring's Hellas, der Quart. Kratzer.
7. Den Schillerpreis, best. in „des Knaben Wunderhorn," herausgeg. von Wendt, der Abit. Nohl.
8. Den Preis eines Ungenannten, best. in der kl. Ausg. von C. Peter's röm. Geschichte, der Untertert. Goll.

Ferner machte es eine durch das Anstaltsbudget zur Verfügung gestellte Summe (und für einen Fall die Liberalität eines hiesigen Buchhändlers) möglich, auch folgenden 27 Schülern Prämien zu erteilen:

Dem Abit. Beiler: Borbstädt's Buch über den deutsch-französischen Krieg des Jahres 1870;
Dem Abit. Kircher: E. Curtius' „Altertum und Gegenwart";
Dem Unterprim. Bartsch: „Goethe in den Hauptzügen seines Wirkens" von Ad. Schöll;
Dem Unterprim. Jost: „Die Physik im Dienst der Wissenschaft, d. Kunst u. des prakt. Lebens" von Krebs.
Dem Unterprim. Vulpius: Freytags Bilder aus dem deutschen Mittelalter;
Dem Obersec. Wolfhard: Uhland's Gedichte und Dramen;
Dem Obersec. Büchner: Kuno Fischer's Lessing;
Dem Obersec. Winkelmann: Köchly's akadem. Vorträge, neue Folge;
Dem Untersec. Wertensohn: Hertzbergs griechische Geschichte;
Dem Untersec. Steinbrenner: „Aus Sturm und Not" Autographensammlung;
Dem Untersec. Gilbert: Ferd. Becker's Lehre vom deutschen Stil;
Dem Untersec. Eitner: Goethes Leben von Lewes;
Dem Obertert. Carlebach: Freytags Bilder aus dem Reformationszeitalter;
Dem Obertert. Nopp: Uhlands Werke;
Dem Untertert. Hack: Götter und Heroen des klass. Altertums von Stoll;
Dem Untertert. Kaltschmitt: Jwein und Parzival von A. Richter;
Dem Quart. Geisendörfer: Weber's kleine Weltgeschichte;
Dem Quart. Rich. Mayer: Simrock's Rheinsagen;
Dem Quart. Schilling: „Die letzten Tage von Pompeji" von Springer;
Dem Quint. Astor: „Kadett und Feldmarschall" von Osk. Höcker;
Dem Quint. Eisenhauer: Livingstone's Entdeckungsreisen in Afrika;
Dem Quint. Erb: „Vasco da Gama" von K. Müller;
Dem Quint. Jost: Die schönsten Mähren und Heldensagen der Vorzeit von Em. Engelmann:
Dem Quint. Karlowicz: Peter Hebel von Otto;
Dem Quint. Heinr. Hamel: Pendragon von Mähly;
Dem Sext. Stadtmüller: Grube's geogr. Charakterbilder, Bd. I:
Dem Sext. Wilh. Fischer: Grube's Bilder und Szenen aus Europa.

Die Gymnasiumsbibliothek erhielt in diesem Schuljahr von Grossh. Oberschulrat, von Herrn Gymnasiumsdirektor Dr. Behaghel in Wertheim, Herrn Director Dr. Thilo, Herrn Prof. Dr. Ihne, Herrn Heinrich Vierordt in Karlsruhe, Herrn Lehramtspraktikant Dr. Pfaff und von verschiedenen Verlagsbuchhandlungen eine Reihe von Geschenken, für welche wir unsern verbindlichsten Dank aussprechen. Auch ist der Bibliothek freundlichst der Rest einer Summe zugewiesen worden, welche von Eltern unserer Schüler zu einem andern Zweck gesammelt war (31 Mk. 35 Pfg.)

Die erst im vorigen Jahre gegründete Schülerbibliothek der unteren Klassen erfuhr in dem zu Ende gehenden Cursus eine nicht unbedeutende Vermehrung durch Geschenke. Für besonders reiche Spenden ist sie Herrn Buchhändler Barth (Firma Schmidt und Spring) in Stuttgart und Herrn Buchhändler Petters dahier verpflichtet.

Unser Naturalienkabinet erhielt von Herrn J. W. Bröckelmann hierselbst eine Insektensammlung und einige Muscheln, von dem Quintaner Lorberg einen ausgestopften Buteo vulgaris.

II. Verteilung der Stunden unter die Lehrer in dem Schuljahr 1884—85.

Lehrer	VI a	VI b	V a	V b	IV a	IV b	U. III a	U. III b	O. III a	O. III b	U. II a	U. II b	O. II	U. I	O. I	Summe
Uhlig Ord. von O. I														6 Griech.	2 Latein. 6 Griech. 1 Philos.	15
Wolf Ord. v. U. III a							2 Deutsch 7 Latein. 6 Griech.		2 Zeich.		2 Zeichnen					20
Frommel			2 prot. Religion				Im Wi. 1, im So. 2 protest. Religionslehre für die, welche Ostern confirmiert wurden.				2 prot. Religionsl. 2 Hebräisch (Im Winter war U. II von O. II in 1 St. getrennt.)		2 Deutsch 3 Franz.	2 Franz. 2 Hebräisch	2 Franz.	19
Henrici											4 Math. 2 Physik	2 Physik	4 Math. 2 Physik	2 Physik	2 Physik	18
Esau Ord. von O. III b			2 Geogr.			2 Gesch. 2 Geogr.				2 Deutsch 8 Latein. 2 Gesch.						18
Maier Ord. v. U. II a										6 Griech. 3 Franz.	8 Latein. 3 Franz.					20
Stadtmüller Ord. v. O. II					4 Franz.								8 Latein. 6 Griech.			18
Mehlborn	2 prot. Religionsl.				2 prot. Religionsl.		2 prot. Religionslehre für die, welche nicht den Confirmationsunterricht besuchten.				2 Deutsch 3 Gesch.	3 Gesch.	2 prot. Rel.	2 prot. Religionsl.		18
Hartfelder Ord. v. U. II b												8 Latein. 2 Deutsch	3 Gesch.		3 Gesch. 3 Deutsch	19
Zettler					3 Rechn. 2 Naturg.				3 Math. 2 Naturg. 1 Geogr.	3 Math. 2 Naturg. 1 Geogr.					4 Math.	21
Ritter Ord. v. O III a							3 Franz. 1 Geogr.		8 Latein. 3 Franz.		6 Griech.					21
Neumann						3 Rechn.	3 Math. 2 Naturg.	3 Math. 2 Naturg.				4 Math.		4 Math.		21
Both Ord. v. UIII b zugl. Bibl.	2 kath. Rel.		2 kath. Religionslehre					2 Deutsch 8 Latein. 2 katholische Religionslehre			2 kath. Religionslehre			2 kath. Religionsl.		20

Lehrer	VI a	VI b	V a	V b	IV a	IV b	U. III a	U. III b	O. III a	O. III b	U. II a	U. II b	O. II	U. I	O. I	Summe
Brandt Ord. v. U. I						4 Franz.								7 Latein.	5 Latein.	16
Steinbrenner	4 Rechn. 2 Naturg. 2 Schreib.	4 Rechn. 2 Schreib.	4 Rechn. 2 Naturg.	4 Rechn.												24
Bilgard Ord. v. V a			9 Latein. 3 Deutsch								6 Griech.			2 Englisch		20
Debo Ord. v. IV a					8 Latein. 2 Deutsch			2 Gesch. 1 Geogr.						3 Deutsch 8 Gesch. 1 Philos.		20
Pfaff Ord. von V b				9 Latein. 3 Deutsch 2 Geogr.			2 Gesch.		6 Griech.							22
Schmidt Ord. v. VI a	9 Latein. 1 Deutsch						2 Turnen	6 Griech.	2 Turnen							22
Dorn Ord. v. IV b	2 Geogr.	2 Geogr.			2 Gesch. 2 Geogr.	2 Deutsch 8 Latein.			2 Deutsch 2 Gesch.							22
Erhardt Ord. v. VI b		9 Latein. 3 Deutsch						3 Franz.			2 Engl.	2 Franz. 2 Engl.	2 Engl.			24
Rieks	2 (alt)katholische Religionslehre						2 (alt)kath. Religionslehre				2 (alt)kath. Religionslehre			2 (alt)kath. Rel.		8
Sondheimer											1 israelitische Religionslehre					1
Cahn	2 israel. Religionslehre				2 israel. Religionslehre											4
Kohler	2 Zeichn. 2 Singen	2 Zeichn.	2 Zeichn. 2 Singen	2 Zeichn.	2 Zeichn. 1 Singen	2 Naturg. 2 Zeichn.	2 Zeichn. 2 Stunden	2 Zeichn.		2 Zeichn.	Chorgesang					27
Menges	2 Turnen	2 Naturg. 2 Turnen	2 Schreib. 2 Turnen	2 Naturg. 2 Schreib. 2 Turnen	2 Turnen	2 Turnen				2 Turnen	2 Turnen		2 Turnen	2 Turnen		28

Die in dem Schuljahr 1884—85 durchgenommenen Lehraufgaben.

1. Religionslehre.

Für die protestantischen Schüler: VI-IV. Die vorgeschriebenen Lieder, biblischen Geschichten und Katechismusfragen, je 2 St.

III. a) Für die Nichtconfirmanden: Frage 1-70 des Katechismus; neuere Kirchengeschichte; die vorgeschriebenen Lieder. 2 St.

b) Für die Schüler, welche den Konfirmandenunterricht besuchten: Erklärung der Bergpredigt und der wichtigsten Gleichnisse. Im Winter 1 St., im Sommer 2 St.

U. II. Einleitung ins A. T. 2 St. O. II. Einleitung ins N. T. 2 St. I. Glaubens- und Sittenlehre. 2 St.

Für die katholischen Schüler: VI. Biblische Geschichte des alten Testamentes, 1—61. Aus dem mittleren Diözesankatechismus das I. Hauptstück und die Lehre von der Beichte. Gebete. 2 St.

V u. IV. Biblische Geschichte des neuen Testaments. Aus dem mittleren Diözesankatechismus das II. Hauptstück. Gebete. 2 St.

III. Im grossen Diözesankatechismus das III. Hauptstück, ausgenommen Firmung und Altarsakrament, das II. Hauptstück cursorisch. Kirchengeschichte in Biographien. Hymnen. 2 St.

II. Die Wahrheit des Christentums nach dem Lehrbuch von Dr. Dreher. Lektüre von Partien aus den proph. und didakt. Büchern des A. T. Lesung des Markusevangeliums im Urtext. 2 St.

I. Die Sittenlehre nach Dr. Drehers Lehrbuch. Lesung und Erklärung des Römerbriefes. 2 St.

Für die (alt)katholischen Schüler: V. und IV. Aus der biblischen Geschichte das neue Testament, insbesondere die Apostelgeschichte. Aus dem Katechismus die Lehre von den grossen Heilsthatsachen. Die beim Gottesdienste verlesenen Evangelien erklärt. Memorieren von Kirchenliedern. 2 St.

III. Einleitung ins alte Testament. Aus der Geschichte der christlichen Kirche die ältere Zeit. Wiederholung des Katechismus. 2 St.

II. Lesung der katholischen Briefe im Urtext. Einleitung in das N. T. Kirchengeschichte der mittleren und neueren Zeit 2. St.

I. Aus der Kirchengeschichte die neueste Zeit. Einiges aus der Apologetik und Dogmatik. Uebersetzung neutestamentlicher Briefe. 2 St.

Für die israelitischen Schüler: VI. V. Biblische Geschichte von Saul bis zur babylonischen Gefangenschaft. Hebräisch: Lesen und Uebersetzen einiger Gebete. Genesis Kapitel 40. 42. 44. Die 10 Gebote und Feiertage. 2. St.

IV. III. Fortsetzung der biblischen Geschichte bis zum Abschluss der biblischen Zeit. Hebr. Lesen, Pentateuch Exodus Kap. 3. 4. 5. 7. 12. Einteilung und Inhalt der heiligen Schrift. 2 St.

II. Jüdische Geschichte vom Abschluss der biblischen Zeit bis zum Untergang des jüdischen Staates. Erklärung ausgewählter Kapitel des 1. B. Mosis. 1 St.

2. Deutsch.

Sexta: Lesen und Erklären prosaischer und poetischer Lesestücke in Wendt's Lesebuch und Gedichtsammlung. Memorieren von Gedichten. Griechische Sagen: der olymp. Götterkreis, Herakles, Theseus, Argonautenzug. Orthographische Uebungen. Formen- und Satzlehre (der einfache Satz). 3 St.

Quinta: Lehre vom zusammengesetzten Satz und der Interpunktion. Orthographische Diktate. Griechische Sagengeschichte (trojan. Sagenkreis). Lektüre von Gedichten und Prosastücken. Vortrag memorierter Gedichte. 3 St.

Quarta: Lektüre und Erklärung poetischer und prosaischer Stücke aus Wendt's Gedichtsammlung und Lesebuch. Vortrag memorierter Gedichte. Kürzere Aufsätze. 2 St.

Untertertia: Lektüre und Erklärung poetischer und prosaischer Stücke aus Wendt's Gedichtsammlung und Wendt's Lesebuch II. Teil. Vortrag erlernter Gedichte. Aufsätze erzählenden Inhalts. 2 St.

Obertertia: Lektüre und Erklärung poetischer und prosaischer Stücke aus Wendt's Sammlung deutscher Gedichte und Wendts Lesebuch II. Teil. Vortrag memorierter Gedichte. Aufsätze im Anschluss an die Lektüre und die Geschichte. 2 St.

Untersecunda: Gedichte von Schiller; Uhland's Ernst von Schwaben und Ludwig der Baier; Herder's Cid; Schillers Wilhelm Tell. Aufsätze. 2 St.

Obersecunda: Lektüre von Lessing's Minna, Schiller's Maria Stuart, Shakespeare's Jul. Caesar und Coriolan. 11 Aufsätze. 2 St.

Unterprima: Mhd. Grammatik und deutsche Literaturgeschichte bis Klopstock. Lektüre des Nibelungenliedes und Walthers v. d. Vogelweide (mit Auswahl). 10 grössere Aufsätze und 7 kleinere. 3 St.

Oberprima: Lektüre einer Reihe von Werken Klopstocks, Herders, Lessings, Goethes und Schillers. Geschichte der neueren Literatur. 10 grössere und 6 kleinere Aufsätze. 3 St.

3. Latein.

Sexta: Regelmässige Formenlehre nebst den unregelm. Verben der I. und II. Conjugation. Mündliche Uebersetzung aus Herm. Schmidt's Elementarbuch der lat. Sprache, I. Teil. Memorieren der zugehörigen Vokabeln. Schriftliche Uebungen seit Weihnachten. 9 St.

Quinta: Unregelmässige Formenlehre und einige syntaktische Regeln. Uebersetzungen aus Herm. Schmidt's Elementarbuch, I. Teil. Memorieren der zugehörigen Vocabeln. Wöchentlich schriftliche Uebungen. 9 St.

Quarta: Grammatik repetiert bis §. 116, zum ersten Male durchgenommen §. 117 bis §. 201. Cornelius Nepos 4 vitae. Tirocinium von Siebelis: mehrere Fabeln des Phaedrus. Klassenarbeiten und Hausarbeiten. 8 St.

Untertertia: Grammatik, Wiederholung und Erweiterung des vorjährigen Pensums, dann §. 234—300. Caesar b. G. IV und V. Siebelis' Tirocinium poeticum, aus Abtlg. III. Wöchentlich eine Klassenarbeit, alle 14 Tage eine Hausarbeit. 8 St.

Obertertia: Ellendt's Grammatik, Syntax bis §. 343, Caesar b. G. I. VI. Ovid. Met.: Ceres und Proserpina Philemon u. Baucis; Phaethon. Wöchentlich Klassenarbeiten, alle 14 Tage eine Hausarbeit. 8 St.

Untersecunda: Livius I. II 1—18. Cic. pro Deiotaro. Verg. Aeneis III. IV. Wöchentlich Extemporalien, alle 14 Tage eine Hausarbeit. 8 St.

Obersecunda: Cic. pro Roscio Amer., in Catilin. I. IV. Livius III. Verg. Aen. VI mit Auswahl; Stellen aus den Georgicis. Extemporalien und Hausarbeiten. 8 St.

Unterprima: Tac. Ann. XIII. Cicero. Philipp I II und aus III IV. Horaz 30 Oden. Alle 8 Tage abwechselnd eine Haus- oder Klassenarbeit. 7 St.

Oberprima: Cic. Tusc. I. V. Tacitus Germania, Annal. II. III, Histor. I. Horaz Sat. I. 1. 3. 4. 6. 9. 10. II. 1. 5. 6. Epist. I 2. 6. 10. 13. Stücke aus Lucrez, Catull und den Elegikern in Brandt's eclogae poetarum latinorum. Wöchentlich abwechselnd schriftliche Haus- oder Klassenarbeiten. 7 St.

4. Griechisch.

Untertertia: Formenlehre mit Einschluss der kleinen Verba auf μι. Mündliche und schriftliche Uebersetzungen aus Weseners Elementarbuch I. Wöchentliche Klassenarbeiten. 6 St.

Obertertia: Elemente der Syntax. Attische Formenlehre: die unregelmässigen Verba. Repetition der regelmässigen Formenlehre. Wesener's Uebungsbuch für Tertia. Wöchentliche Klassenarbeiten. Lectüre: Xen. An. I. II bis c. 3. Homer Odyssee I 1—60. 6 St.

Untersecunda: Xen. Anab. III. Lysias VII. XXIV. XXXII. Odyssee I V VI IX X. Casuslehre, Präpositionen, Moduslehre. Wöchentliche Klassenarbeiten. 6 St.

Obersecunda: Lysias X XII XVI. Herodot. V u. VI mit Auswahl. Odyss. I-VIII XI XIII-XVI XVIII. Die eleg. Dichter bis Theognis in Stadtmüller's eclogae poet. graec. Wöchentlich Klassenarbeiten und einige Hausarbeiten. 6 St.

Unterprima: Demosth. Olynth. III u. Teile von der Rede über die Truggesandtschaft. Thukydides B. II, bis zum Tode des Perikles. Ilias I—IV VI VIII IX XII XVI. Sophokles König Oed. Wöchentliche Klassenarbeiten. 6 St.

Oberprima: Platons Apologie, Protagoras, Teile d. Phaedon und des Symposion Thucydides, aus Buch IV VI VII u. VIII. Ilias XIV XVIII—XX XXII - XXIV. Sophokles Antigone. Die Fragmente der Elegiker, der Sappho und des Anacreon, sowie die Batrachomyomachie, der Frauenspiegel des Simonides v. A., einige Fabeln des Babrius und eine Reihe von Epigrammen in Stadtmüller's eclogae poetarum graecorum. Wöchentliche Klassenarbeiten. 6 St.

5. Französisch.

Quarta: Schulgrammatik von Ciala I bis §. 69. Fabeln und Anekdoten aus Ciala's Gramm. und Süpfle's Lesebuch. Wöchentlich schriftliche Uebungen. 4 St.

Untertertia: Repetition des Pensums für Quarta (nach Ciala's Grammatik, neu §. 70 des I. Teils bis §. 20 des 2. T. Ausgewählte prosaische und poet. Lesestücke. Wöchentlich eine Klassenarbeit. 3 St.

Obertertia: Süpfle's Grammatik bis §. 116. Uebersetzung sämtlicher dazu gehöriger Uebungsstücke. Lektüre poetischer und prosaischer Stücke aus Süpfle's Lesebuch. Wöchentl. Extemporalien. 3 St.

Untersecunda: Süpfle's Grammatik §. 117—143. Uebersetzung der Uebungsstücke. Wöchentlich ein Extemporale. Lektüre. 6 Erzählungen von Souvestre. 3 St.

Obersecunda: Abschluss der Grammatik. Uebersetzung der Uebungsstücke. Wöchentlich ein Extemporale. Lektüre: Mignet's vie de Franklin. 3 St.

Unterprima: Wiederholung der Grammatik. In der Woche eine Klassenarbeit nach französischen Autoren. Lektüre: Racine's Phèdre, Molière's Avare. 2 St.

Oberprima: Lektüre: Corneille's Cid. Molière's Malade imaginaire. Mignet's histoire de la revolution française. Biographische Mitteilungen über Autoren des XVII. Jahrh. in franz. Sprache und Vorlesung von Proben aus ihren Werken, soweit dieselben nicht Gegenstand der Lektüre gewesen. Wöchentlich ein Extemporale. 2 St.

6. Hebräisch (fakultativ).

Secunda: U. II. Grammatik bis zu den verba I Guttur. Uebersetzung v. Genes. I.—O. II. Grammatik bis zu den Numeralia. Schriftliche Uebungen. Uebersetzung von Genes. I—XII.

Prima: Grammatik: Abschluss der Formenlehre. Schriftliche Uebungen. Uebersetzung unpunktierter Texte.

7. Englisch (fakultativ).

Untersecunda: Plate's Lehrgang I Lektion 1—49 nebst den Uebungsstücken. Lesen der meisten pros. u. poet. Stücke im Anhang. Extemporalien seit Ostern. 2 St.

Obersecunda: Plate's Lehrgang I Lection 32—66. Extemporalien. Lektüre: Scott's Tales of a Grandfather; Money, a comedy by Bulwer. 2 St.

Prima: Einzelne Partien der Grammatik nach Georg. Lektüre: Aus Tom Brown's School Days. Macaulay, Frederic the Great. Shakespeare's Richard III. 2 St.

8. Geschichte und Geographie.

Sexta: Sagengeschichte, siehe den deutschen Unterricht. Allgemeine geographische Grundbegriffe. Die aussereuropäischen Erdteile unter Zugrundlegung von E. v. Seydlitz' Grundzügen. 2 St.

Quinta: Sagengeschichte, siehe den deutschen Unterricht. Europa mit besonderer Berücksichtigung der physischen Beschaffenheit. Skizzenzeichnen. 2 St.

Quarta: Geschichte der Griechen und Römer nach O. Jägers Hilfsbuch. 2 St. Die aussereuropäischen Erdteile nach Daniels Leitfaden. 2 St.

Untertertia: Geschichte Deutschlands im Mittelalter. 2 St. Mitteleuropa, ausführlich Deutschland. 1 St.

Obertertia: Neuere Geschichte bis 1871. 2 St. Die ausserdeutschen Staaten Europas. 1 St.

Untersecunda: Griechische Geschichte. Repetition der Geogr. Asiens und Afrikas. 3. St.

Obersecunda: Römische Geschichte. 3 St. Repetition der Geographie von Afrika, Amerika und Australien in einem Teil der Geschichtsstunden.

Unterprima: Geschichte des Mittelalters und der Neuzeit bis zum 30jährigen Krieg. Repetition der griech. und röm. Geschichte. 3 St. Repetition der Geographie Europas mit Ausnahme Deutschlands.

Oberprima: Geschichte der neueren Zeit. Repetition der griech., röm. und mittelalterlichen Geschichte. 2 St. Repetition der Geographie Deutschlands und Oesterreichs in einem Teil der Geschichtsstunden.

9. Rechnen und Mathematik.

Sexta: Die 4 Grundoperationen mit unbenannten ganzen Zahlen. 4 St.

Quiata: Die Lehre von den gemeinen und Decimalbrüchen in mündl. und schriftl. Uebungen; einfache Zweisatzrechnungen. 4 St.

Quarta: Abgekürztes Rechnen mit Decimalbrüchen. Einfache und zusammengesetzte Zweisatzrechnungen. 3 St.

Untertertia: Die vier Grundrechnungsarten mit allgemeinen Grössen. Strecken und Winkel. Symmetrische und centrische Beziehungen geradliniger Figuren. 3 St.

Obertertia: Potenzen mit ganzen positiven und negativen Exponenten. Gleichungen I. Gr. mit 1 Unbekannten. Kreislehre. Construktionsaufgaben. 3 St.

Untersecunda: Gleichungen des I. Grades mit mehreren Unbekannten und des zweiten Grades mit einer Unbekannten. Wurzeln. 2 St. Gleichheit der Flächen. Proportionale Strecken. Ähnlichkeit. Berechnung v. Strecken und Flächen des Dreiecks und des Kreises. 2 St.

Obersecunda: Gleichungen des zweiten Grades mit mehreren Unbekannten. Potenzen mit gebrochenen Exponenten. Logarithmen. Exponentialgleichungen. 2 St. Harmonische Verhältnisse. Perspektivische Beziehungen von geradlinigen Figuren und von Kreisen. Apollonische Aufgabe 2 St.

Unterprima: Figurierte Zahlen. Kettenbrüche und diophantische Gleichungen. Kombinatorik. Stereometrie. 4 St.

Oberprima: Kombinatorik. Binomischer Satz. Exponentialreihe. Logarithmische Reihe. Sinus- u. Cosinusreihe. Einiges über complexe Grössen. Kegelschnitte. Wiederholungskursus. 4 St.

10. Naturwissenschaften.

Sexta: Beschreibung von Säugetieren, Vögeln und wildwachsenden Blütenpflanzen. 2 St.

Quinta: Beschreibung und Vergleichung von Säugetieren, Vögeln und wildwachsenden Blütenpflanzen. 2 St.

Quarta: Beschreibung und Vergleichung von Wirbeltieren und wildwachsenden Blütenpflanzen. 2 St.

Untertertia: Wirbellose Tiere. Phanerogamen nach dem Linné'schen System mit Hinweis auf die natürlichen Familien. 2 St.

Obertertia: Anthropologie. Systematik des Tierreichs. Pflanzenanatomie. Einiges über Ernährung der Pflanzen. 2 St.

Untersecunda: Molekularkräfte. Schwerkraft. Magnetismus und Elektricität. 2 St.

Obersecunda: Schall, Wärme und Licht. Synopsis dieser Erscheinungen. 2 St.

Unterprima: Chemische Wirkungen der Wärme und Elektricität. Verbrennung, Athmung, Ernährung und Verwesung. Gesetze der Equivalentgewichte. 2 St.

Oberprima: Chronologie. Kosmische Geometrie und Mechanik.

11. Philosophische Propädeutik.

Unterprima: Anfangsgründe der Logik. 1 St.

Oberprima: Uebersicht über die Geschichte der antiken Philosophie und Erläuterung der aus dem Altertum stammenden philosophischen Kunstausdrücke. 1 St.

III. Statistik der Anstalt.

a. Das Lehrerpersonal.

Director: Dr. Gustav Uhlig, zugleich Honorarprofessor an der Universität (geb. 1838, an der Anstalt thätig seit Ostern 1872).

Ordentliche Lehrer: die Professoren Max Wolf (1824, Neujahr 1868); Wilhelm Frommel (1829, Herbst 1867); Julius Henrici (1841, Ostern 1877); Karl Esau (1842, Februar 1878); Dr. Wilhelm Maler (1844, Herbst 1868); Hugo Stadtmüller (1845, Herbst 1874); Dr. Paul Mehlhorn (1851, Herbst 1881); Dr. Karl Hartfelder (1848, Herbst 1882); Dr. Karl Zettler (1845, Herbst 1876); Friedrich Ritter (1852, Ostern 1878); Dr. Ludwig Neumann (1854, Herbst 1881); Valentin Both (1850, Herbst 1882); Dr. Samuel Brandt, zugleich Prof. extr. der klass. Philologie an der Universität (1848, Herbst 1877); Dr. Alfred Hilgard (1857, Herbst 1879). Reallehrer August Steinbrenner (1830, Herbst 1870).

Ausserordentliche Lehrer: Die Lehramtspraktikanten Dr. Felix Debo (1852, Herbst 1881); Karl Pfaff (1856, Herbst 1881); Traugott Schmidt (1855, Herbst 1881); Wilhelm Dorn (1857, Ostern 1884); Dr. Karl Erhardt (1859, Herbst 1884). Die Religionslehrer Stadtpfarrer Dr. Rieks (1843, Ostern 1874); Bezirksrabbiner Dr. Sondheimer (1840, Ostern 1872). Der Zeichen- und Gesanglehrer Hermann Kohler (1858, Herbst 1883); der Turnlehrer Menges (1857, Mai 1881).

Gymnasiumskassenverwaltung: Oberrechnungsrat Wenz.
Gymnasiumsdiener: Ehmann.

---

b. Abiturienten.

Die vorjährige mündliche Abiturientenprüfung fand am 24. und 25. Juli unter Vorsitz des Herrn Oberschulrat Gymnasiumsdirektor Dr. Wendt statt. Alle 23 Oberprimaner wurden für reif erklärt.

Namen.	Geburtsort.	Alter.	Religion.	Berufsfach.
Beiler Albert.	Heidelberg.	17	prot.	Militär.
Eitner Paul.	Ohlau in Schlesien.	19	prot.	Naturwissenschaften.
Fischer Michael.	Heidelberg.	22	kath.	Medizin.
Forster William.	London.	20	prot.	Militär.
Grabendörfer Robert.	Donaueschingen.	19	(alt)kath.	Chemie.
Herbold Georg.	Waldwimmersbach.	20	prot.	Theologie.
Immisch Julius.	Heidelberg.	18	prot.	Medizin.
Kircher Heinrich.	Wiesloch.	19	prot.	Philologie.
Landfried Richard.	Heidelberg.	17	prot.	Medizin.
Leimbach Rudolf.	Heidelberg.	18	(alt)kath.	Medizin.
Mezger Robert.	Weinheim.	18	(alt)kath.	Philologie.
Nohl Ludwig.	Oberweiler.	17	prot.	Philologie.
Odenwald Otto.	Walldorf.	18	prot.	Cameralia.
Osterrieth Albert.	Strassburg im Elsass.	18	prot.	Archäologie.
Seidle Karl.	Untereggingen.	20	prot.	Theologie.
Stein Hermann.	Heidelberg.	20	prot.	Jurisprudenz.
Steiner August.	Mosbach.	17	prot.	Medizin.

Namen.	Geburtsort	Alter.	Religion.	Berufsfach.
Sulzer Paul.	Kirchen.	19	prot.	Medizin.
Trolle Friedrich.	Wiesloch.	18	kath.	Jura.
Walter Karl.	Neckargemünd.	20	prot.	Postfach.
Wirth Anton.	Heidelberg.	19	kath.	Medizin.
Witsenhausen Oskar.	Heidelberg.	18	isr.	Medizin.
Wolf Robert.	Heidelberg.	18	prot.	Medizin.

Beiler, Nohl, Trolle erhielten die Gesamtnote „sehr gut," Eitner, Kircher, Landfried, Leimbach, Odenwald, Osterrieth, Steiner die Note „gut," Fischer, Grabendörfer, Herbold, Mezger, Seidle, Stein, Walter, Wirth, Witsenhausen, Wolf die Note „ziemlich gut."

c. Uebersicht der Schülerzahl im Schuljahre 1884—85.

Schüler	in den Klassen										1883 bis 1884	1882 bis 1883
	VI.	V	IV.	U. III.	O. III.	U II.	O. II.	U. I.	O. I.	Zus.		
Promovierte	—	59	65	50	61	52	23	27	22	359	332	335
Repetenten	6	5	2	5	3	3	2	1	—	27	32	27
Neueingetretene	64	9	8	10	5	1	1	1	1	100	96	87
Darunter nach Confessionen:												
katholische*)	19	23	22	16	15	21	10	6	5	137	127	122
evangelische	47	43	47	45	45	27	15	22	17	308	287	273
israelitische	4	7	6	4	9	8	1	1	1	41	46	54
zusammen**)	70	73	75	65	69	56	26	29	23	486	460	449
Im Laufe des Schuljahres traten aus	1	5	6	4	4	3	3	4	2	32	21	50
Stand am Ende des Schuljahres .	69	68	69	61	65	53	23	25	21	454	439	399
Schüler, deren Eltern in Heidelberg oder in Neuenheim wohnen . .	55	61	57	54	49	43	21	21	19	380	356	363
Schüler, deren Eltern nicht in Heidelberg oder Neuenheim, aber in Baden wohnen	14	10	14	8	17	13	3	7	4	90	83	73
Schüler, deren Eltern nicht in Baden wohnen	1	2	4	3	3	—	2	1	—	16	21	13
*) Davon besuchten den (alt)kathol. Religionsunterricht	0	4	5	4	1	4	3	—	2	23	27	24
**) In Parallelabteilungen . . .	2	2	2	2	2	2	—	—	—			
zu	46+24	49+24	44+31	44+21	35+34	31+25						

Von den 106, deren Eltern nicht in Heidelberg oder Neuenheim wohnen, kamen 66 täglich nach Heidelberg; 40 waren in hiesigen Familien untergebracht. — Gäste hatten wir im Ganzen vier. — Schüler, welche das Normalalter für ihre Klasse noch nicht erreicht hatten, sassen in VI 4, V 10, IV 9, Unter III 3, Ober III 9, Unter II 3. Ober II 2, Unter I 1, Ober I 0 (im Ganzen 41); Schüler, welche das Normalalter für ihre Klasse überschritten hatten, sassen in VI 1, V 2, IV 1, Unter III 3, Ober III 5, Unter II 4, Ober II 1, Unter I 0, Ober I 1 (im Ganzen 18).

Die Gesamtzahl der Schüler ist seit dem Schuljahr 1874—75 in folgender Weise gestiegen: 295. 302. 317. 337. 366. 411. 415. 438. 449. 460. 486. Die Zahlen der Abiturienten von 1874—1884 sind: 7. 8. 5. 9. 9. 16. 15. 12. 20. 18. 23.

d. Namen der Schüler.

(Die mit einem Sternchen Bezeichneten traten im Laufe des Curses aus.)

Sexta a.
(46)

Antoni Richard.
Astor Johannes.
Bade Philipp.
Bodenheimer Siegmund.
Bohrmann Wilhelm.
Bolack Heinrich.
v. Carben Wilhelm.
Desaga Otto.
Eckert Ludwig.
Fuchs Hermann.
Fundinger Karl.
Gilbert Georg.
Götze Ernst.
Grosskopf Adolf.
Hack Fritz.
Hefft Otto.
Heger Karl.
Herrigel Oskar.
Hoffmeister Heinrich.
Horstmann Max.
Jung Ludwig.
Keller Friedrich.
Kipphan Karl.
Körner Georg.
Korthals Johann.
Leiser August.
Malsch Ernst.
Mayer Richard.
Meyerhofer Otto.
Mühlmann Otto.
Nebel Heinrich.
Neuburger Karl.
Pfreundschuh Georg.
Pielmann Ludwig.
Reinhard Philipp.
Riede Max.
Sänger Friedrich.
Schäffner Franz.
Schmitt Jakob.
Schmitt Wilhelm.
Stecher Eugen.
Steinmann Theodor.
Stephan Georg.
Treiber Georg.
Voth Ludwig.
Weckel Gustav.

Sexta b.
(24 – 1)

Bauer Ludwig.
*Bernion Karl.
Bischoff Otto.
Bühler Eugen.
Buzengeiger Ernst.
Döpfner Otto.
Gegenbaur Fritz.
Gernsheimer Ludwig.
Güde Georg.
Hatz Friedrich.
Heck Karl.
Hornung Fritz.
Karg Franz.
Klingel Max.
Landfried Heinrich.
Lutz Wilhelm.
Schifferer Julius.
Schlössinger Richard.
Schott Stephan.
Seyfert Arthur.
Stüber Hermann.
Stutzmann Fritz.
Uhlig Ernst.
Wiedmann Karl.

Quinta a.
(49 – 4)

Bartels Richard.
Beck Karl.
Blos Edwin.
*v. Bylandt Otto.
Cron Alfred.
Durlacher Max.
Gierke Julius.
Hagenmeyer Otto.
Holzer Adolf
Holzer Wilhelm.
Jahn Friedrich.
Kaiser Albert.
Kästle Karl.
Kaufmann Max.
Kletti Heinrich.
Königsberger Hans.
Kratt Franz.
Kraus Fritz.
Lee Alfred.
Leers Theodor.
Leist Georg.
Lindenheim Ludwig.
Lorberg Viktor.
Mahler Gallus.
Mahler Otto.
Meeser Eduard.
Müller Wilhelm.
Nathan Max.
Neumann Curt.
Neuser Max.
Nimis Karl.
Pielmann Ferdinand.
Rapp Theodor.
Reiske Rudolf.
*Rothschild Gustav.
Schilling Johann.
Schloss Oskar.
Schneider Eduard.
Schultze Otto.
Schultze Willy.
*Sturm Karl.
Trautz Otto.
Unrath Jacob.
*Weickart Franz.
Weipert Otto
Weitze Hermann.
Werner Karl.
v. Winning Hellmut.
Winter Otto.

Quinta b.
(24 – 1)

Eichler August.
Fischer Pius
Fischer Wilhelm.
v. Göler Heinrich.
Gottmann Ernst.
Graf Oskar.
Grosskopf Berthold.
v. Haymerle Ferry.
Krug Theodor.
Lossen Richard.
Mezger Albrecht.
Oppenheimer Max.
Osthoff Fritz.
Pfeiffer Alfred.
Schmidt Hermann.
v. Schoening Kurt.
Spitzer Karl.
Stadtmüller Hugo.
Toepke Gustav.
Ullmer Friedrich.
Veeth Josef.
Weil Hermann.
*v. Winning Leopold.
Winter Ernst.

Quarta a.
(44 – 5)

Ackermann Georg.
Astor Karl
Bischoff Fritz.
Beutel Alfred.
Bock Moritz.
Boppel Heinrich.
Bruckmann Heinrich.
Brude Karl.
*Brugier Franklin.
Cron Richard.
*Czerny Hans.
Einwächter Adolf.
Erb Hermann.
Fehser Karl.
Freund August.
Götze Wilhelm.
Hamel Heinrich.
Hamel Richard.
Hatz Jakob.
Heinzmann Josef.
Hinterskirch Wilhelm.
Herbig Friedrich.
Hertlein August.
Herbst Friedrich.
Kaiser Gustav.
Lossen Wilhelm.
*Matthie Hermann.
Mayer Walter.
*Mächtel Karl.
Müller Christian.
Neef Wilhelm.
v. Neuenstein Max.
Oster Rudolf.
Pfeiffer Rudolf.
Reis Josef.
Reis Julian.
Rettig Julius.
Rosenplänter Friedrich.
Rothenhöfer Wilhelm.
Schäfer Friedrich.
Schildecker Josef.

Sieferer Max.
Stoll Gustav.
Winter Karl.

Quarta b.
(31—1)

Blum Heinrich.
Daecke Selmar.
Durlacher Hermann.
Eisenhauer Georg.
Fremerey Heinrich.
Haas Friedrich.
Hillengass Wilhelm.
Horstmann Georg.
Jost Gustav.
Karlowa Hermann
Karlowicz Edmund.
Kehrer Erwin.
Kipphan Heinrich.
*Leiser Karl.
Marx Ludwig.
v. Mayer Otto.
Mayer Robert.
Mootz Wilhelm.
Ostertag Friedrich.
Reinle Friedrich.
Rodrian Friedrich.
Schmidt Karl.
Schmitt Andreas.
Schmitt Friedrich.
Schneider Erwin.
Staus Anton.
Sternheimer Adolf.
Walther Eugen.
Werner Philipp.
Wipfler Friedrich
Wolff Julius.

Untertertia a.
(44 - 2)

Becker Adam.
Becker Friedrich.
Beuerle Gustav.
Böttlin Heinrich.
Bolack Julius.
*Brandt Heinrich.
Braun August.
Bürkle Albert.
Carlebach Albert.
Erhard Walther.
Fehr Eugen
Frommel Otto.
Fuchs Heinrich.
Fuchs Julius.
Futterer Wilhelm.
Gamber Friedrich.
Geisendörfer Wilhelm.
Güde Wilhelm.
Heger Adolf.
Heinze Wolfgang.
Hess Peter.
Hutter Heinrich.
Leimbach Eduard.
Liebhold Moritz.
Liebhold Wilhelm.
Littig August.
Lochbühler Wilhelm.
Lochert Friedrich.
Mayer Richard.
Morell Eduard.
Müller Emil.
Müller Karl.
Müller Philipp
Münch Karl.
Ostertag Waldemar.
Schenk Friedrich.
v. Schenk Rudolf.
Schroth Friedrich.
Starck Hugo.
Steiner Alfred.
Uhlig Karl.
Walther Max.
* Winter Karl.
Ziebert Karl.

Untertertia b.
(21 - 2)

Ackermann Franz.
Banschenbach Max
Blatz Theodor
Buzengeiger Karl.
Cahn Leo.
*v. Carlowitz Lothar.
Eppele Emil.
Goode Heinrich.
Kramer Josef.
Kratzer Franz.
Landfried Ernst.
Laub Ludwig.
Nollert Friedrich.
Raupp Adolf.
Reinhard Karl.
*Roeckel Karl.
Rümelin Alfred.
Schaber Adolf.
Schilling Ludwig.
Schleckmann Josef.
Siebenhaar Robert.

Obertertia a.
(35 - 1)

Bayer Ludwig.
Behrens Richard.
Binder Adrian.
Bodenheimer Oskar.
v. Carben Ludwig.
Däcke Arnold.
Ehrmann Fritz.
Frey Oskar.
Gaber Heinrich.
Gehrt Otto.
*Gemündt Theodor.
Goll Jakob.
Goode Stuart
Hack Gustav.
Hefft Karl.
Kempe Fritz.
Klehe Ruprecht
Krayer Richard.
Liebhold Emil.
Louis Robert.
Metzler Ferdinand.
Müller Martin.
Pfaff Friedrich.
Pfaff Volkert.
Pirsch Heinrich.
Schaab Paul.
Scherrer Karl.
Schneider Johannes.
Schott Emil.
Strübe Karl.
Young Waldemar.
v. Zagorski Johann.
Zangemeister Wilhelm.
Zimmermann Hermann.
v. Zwackh Karl.

Obertertia b.
(34—3)

Bacher August.
Böllert Karl
Braun Theodor.
Cahn Heinrich.
Carqué Georg.
Doerffel Julius.
Ege Wilhelm.
Eichler Karl.
Emig Friedrich.
Fuchs Otto.
Helbing Eduard.
*Hofmann Edmund.
Horn Karl.
Huber Friedrich.
Hübsch Robert.
Hurst Emil.
Kaltschmitt Johann.
Keller Eduard.
Koppert Adam.
*Kritzer Hermann.
Link August.
Link Friedrich.
Löb Leo.
Luce Alfred.
Lutz Albert.
Meyer Otto.
Müller Heinrich.
Müller Hugo.
Reis Isidor.
Rodrian Franz.
*Rom Karl.
Seligmann Max.
Ullmann Leopold.
Weidner Julius.

Untersecunda a.
(31—2)

Apfel Rudolf.
Baer Max.
Barth Victor.
Carlebach Rudolf.
v. Dusch Fritz.
Fritzweiler Hermann.
Fritzweiler Edmund.
Fuchs Albert.
Geisendörfer Georg.
Gottmann Wilhelm.
Heck Ludwig.
Henrici Otto.
Kircher Karl.
Liebler Max.
Louis Rudolf.
Mack Hermann.
Marx Nathan I.
Marx Nathan II.
*Metzler Theodor.
Nees Heinrich.
Nimis August.
Odenwald Hermann.
*Sachs Hans.

Schneider Georg.
Schulz Wilhelm.
Simon Otto.
Sulzer Max.
Werner Robert.
Wiedmann Adolf.
Wolf Gerhard.
Ziegler Josef.

Untersecunda b.
(25—1)

Behaghel Georg.
Beutel Karl.
Blum Julius.
Brummer Otto.
Brummer Richard.
Deckert Rudolf.
Ehmann Peter.
Ehrmann Oskar.
Eitner Emil.
Güde Karl.
Guerillot Alphons.
Guerillot Edmund.
Hammann Wilhelm.
Hartmann Philipp.
Heuss Otto.
Hurst Karl.
Jahn Ludwig.
*König Fritz.
Kritzer Johann.
Lempp Ferdinand.
Lobstein Ernst.
Mayer Robert.
Netter Josef.
Nopp August.
Thomann Robert.

Obersecunda.
(26—3)

Beuerle Oskar.
*Bruckmann Friedrich.
Cantor Otto.
*Eicke Adolf.
Eitner Felix.
Genz Georg.
Gilbert Johann.
Haas Karl.
Himmelstein Wilhelm.
Hinger Gustav.
Kamm Heinrich.
Kehrbeck Friedrich.
Kinscherf Friedrich.
Klein Theodor.
*Krall Karl.
Kunz Karl.
Popp Oskar.
v. Poschinger Georg.
Reuther Ludwig.
Roth Wilhelm.
Sondheimer Joël.
Steinbrenner Ludwig.
Trutschel Ludwig.
Wachsmuth Richard.
Wertensohn Karl.
Winkelmann Alfred.

Unterprima.
(26—4)

Ackermann Aron.
Backfisch Adolf.
Becker Theodor.
Bezzenberger Paul.
Braun Rudolf.
Büchner August.
Ebert Leonhard.
Fremerey Gustav.
Halbauer Albert.
Hausrath Hans.
*Hess Friedrich.
Hoch Rudolf.
Junghanns Albert.
Klar Philipp.
Klett Adolf.
*Ludwig Theodor.
Mampel Friedrich.
*Popp Franz.
Rech Julius.
Rihm Alexander.
*Scherrer Anton.
Schneider Karl.
Schütz Robert.
Steiner Karl.
Winkelmann Adolf.
Wolff Rudolf.
Wolfhard August.
Zimmermann Georg.
Zimmermann Wilhelm.

Oberprima.
(23—2)

Bartsch Hugo.
*Bender Eugen.
Braun Hermann.
*Clemm Walter.
Ehrmann Eugen.
Futterer Karl.
Hormuth Philipp.
Hug Karl.
Jost Karl.
Kinscherf Josef.
Kircher Ernst.
Köhler August.
Lehmann Ernst.
Löchner Ludwig.
Mittermaier Wolfgang.
Neu Heinrich.
Raupp Otto.
Reinhardt Philipp.
Rothenhöfer Heinrich.
Schneider Karl.
Vulpius Oskar.
Werner Heinrich.
Zimmermann Ludwig.

Aus typographischem Grunde folgt hier eine zur Chronik gehörige Mitteilung nach.

Anfang März trat der Direktor der Anstalt einen ihm von Grossh. Ministerium der Justiz, des Kultus und des Unterrichts gütigst gewährten längeren Urlaub zum Zweck handschriftlicher Studien auf den Bibliotheken zu Paris, London, Oxford, Cambridge, Brüssel und Leyden an. Seine Abwesenheit dauerte, die Osterferien nicht gerechnet, acht Wochen. Die Mehrzahl der Stunden des Abwesenden gab Herr Prof. Dr. Brandt, von dessen gewöhnlichem Deputat der Direktor für die übrigen 33 Unterrichtswochen 2 Stunden übernommen hatte. In einer kleineren Anzahl von Lektionen wurde er freundlichst von den Herren Professoren Dr. Zettler, Dr. Hilgard und Herrn Praktikant Dr. Pfaff vertreten. Die Direktionsgeschäfte besorgte während des bezeichneten Zeitraums Herr Professor Wolf.

IV. Ordnung der öffentlichen Prüfungen und der Schlussfeierlichkeit.

(Die Religionsprüfungen fallen diesmal aus persönlichen Gründen aus.)

Donnerstag den 30. Juli.

7—8 im Zeichensaal Prüfung der Obertertia A und B (Ovid, Naturgeschichte, Xenophon).
8—9 „ „ „ „ Untertertia A und B (Cäsar, Geschichte, Griechisch).
9—10 „ „ „ „ Quarta A und B (Französisch, Geschichte, Phädrus).
10—11 „ „ „ „ Quinta A und B (Latein, Rechnen, deutsche Gedichte).
11—12 „ „ „ „ Sexta A und B (Latein, Naturgeschichte, Sagengeschichte).

Freitag den 31. Juli.

7—8 im Zeichensaal Prüfung der Untersecunda A und B (Lysias, Physik, Cicero).
8—9 „ „ „ „ Obersecunda (Vergil und Homer, Mathematik und Physik).
9—10 „ „ „ „ Unterprima (Tacitus, Walther von der Vogelweide und mittelalterliche Geschichte).
10—11 „ „ „ „ Oberprima (lateinische Poesie, griechische Poesie, philos. Propaed.).
11—12 im Turnsaal Turnprüfung der Quarta A, Obersecunda und Unterprima.

Samstag den 1. August

Nachmittags um 3 Uhr im grossen Saale des Museums

Schlussfeierlichkeit.

1. "Die Ehre Gottes aus der Natur" von Beethoven, gemischter Chor.

2. Kurze Aeusserungen von Abiturienten in verschiedenen Sprachen über einzelne Sentenzen: H. Rothenhöfer hebräisch über Spr. Salom. 12, 1 "Wer sich gerne lässt strafen, der wird klug werden; wer aber ungestraft sein will, der bleibet ein Narr", E. Ehrmann griechisch über *Ὁ μὴ δαρεὶς ἄνθρωπος οὐ παιδεύεται*, K. Jost lateinisch über "Ars non habet osorem nisi ignorantem", K. Hug französisch über "Rien n'est beau que le vrai", K. Futterer englisch über "Time is money", H. Bartsch mittelhochdeutsch über "Ein guot beginne gît ein rîchez hoffen".

3. "Glaube, Liebe, Hoffnung" von Kreutzer, Knabenchor.

4. Deutsche Rede des Abiturienten O. Vulpius über die nationale Erhebung des Jahres 1809 in Oesterreich.

5. Szenen aus Immermann's "Andreas Hofer", dargestellt von Schülern der oberen und mittleren Klassen.

Im Wirtshaus am Berge Isel: Etschmann (der Wirt), ein Knecht, Speckbacher, der Herzog von Danzig, La Coste, Peter Mayer, Pater Haspinger. — Hochebene unweit des Isel: Hofer, Speckbacher, Haspinger. — Vor dem Wirtshaus am Isel: Etschmann, Hofer, Fallern, Eisenstecken, Gebrüder Rainer. — Schlachtfeld: Oberst Fleury,

Herzog von Danzig, La Coste; Hofer, Eisenstecken, Haspinger, Speckbacher. — Ein Staatszimmer in Villach: Vicekönig von Italien, Graf Barraguay, Hofer. — Ein Hof in Botzen: Donay, Barraguay, Kapitän Raynouard. — Felsgegend oberhalb Passeyer: Speckbacher, Haspinger, Hofer, sein Knabe Johann, Raynouard.

6. Trio in G dur Nr. I von Jos. Haydn, vorgetragen von Primanern.

7. Ansprache des Direktors, Verkündigung der Promotionen.

8. "Abschied vom Walde" von Mendelssohn, gemischter Chor.

Zur Teilnahme an diesen Prüfungen und an der Schlussfeierlichkeit erlauben wir uns die hiesigen staatlichen und städtischen Behörden, die Eltern der Schüler, sowie alle Freunde des Schulwesens ergebenst einzuladeen.

V. Der Wiederbeginn und die Aufnahmebedingungen.

Die Ferien dauern bis Montag den 14. September.

Die Anmeldungen neuer Schüler wird der Director am Samstag den 12. September Vormittags von 8—12 in seinem Amtszimmer entgegennehmen. Die Vorstellung der aufzunehmenden Knaben hat durch ihre Eltern, bezw. Vormünder, oder deren Beauftragte zu geschehn, und sind dabei der Geburtsschein und der Impfschein des Angemeldeten vorzuweisen (von solchen, welche in diesem Jahre das 12. Lebensjahr zurücklegen, und allen älteren der Wiederimpfungsschein). Hat der Knabe bereits eine andere Schule besucht, so muss auch das letzte Zeugnis dieser vorgelegt werden. Das Normalalter für den Eintritt in die unterste Klasse ist das zurückgelegte neunte bis elfte Jahr. Hiernach bestimmt sich das Normalalter für die übrigen Klassen. Als Vorkenntnisse für die Aufnahme in die unterste Klasse werden verlangt: 1) Fertigkeit im Lesen des Deutschen in deutscher und lateinischer Druckschrift. 2) Die Fähigkeit, dictierte deutsche Sätze in deutscher und in lateinischer Schrift orthographisch niederzuschreiben. 3) Kenntnis der vier Rechnungsarten im Zahlenraum bis 100.

Die bedingt promovierten Schüler haben sich Montag den 14 September Morgens um 7 Uhr in den Klassen, in die sie versetzt zu werden wünschen, zur Nachprüfung einzustellen. Um dieselbe Zeit beginnt die Prüfung der Neuangemeldeten.

Dienstag den 15. September Morgens um 11 Uhr werden alle Examinierten in dem Zeichensaal Mitteilung über den Ausfall ihrer Prüfung erhalten. Um $11^1/_2$ haben sich sämtliche Schüler in ihre Klassen zu begeben und zwar die der unteren und mittleren Curse zunächst alle in diejenigen Zimmer, welche für die A-Coeten bestimmt sind.

Dr. G. Uhlig.

Herzog von Danzig, I
könig von Italien, Gr
gegend oberhalb Pass

6. Trio in G
7. Ansprache
8. "Abschied

Zur Teilna
ben wir uns di
Schüler, sowie

eckbacher. — Ein Staatszimmer in Villach: Vice-
Donay, Barraguay, Kapitän Raynouard. — Fels-
nabe Johann, Raynouard.
von Primanern.
notionen.
hter Chor.
an der Schlussfeierlichkeit erlau-
ltischen Behörden, die Eltern der
ergebenst einzuladeen.

Aufnahmebedingungen.

Die Ferien
Die Anme
Vormittags von 8
Knaben hat dur
dabei der Geburt
in diesem Jahre
Hat der Knabe
vorgelegt werden.
neunte bis elfte
kenntnisse für di
Deutschen in de
deutscher und in
arten im Zahlen
Die bedin
7 Uhr in den K
dieselbe Zeit beg
Dienstag d
Mitteilung über
Klassen zu begel
welche für die

r.
r Director am Samstag den 12. September
nehmen. Die Vorstellung der aufzunehmenden
er deren Beauftragte zu geschehen, und sind
ngemeldeten vorzuweisen (von solchen, welche
en älteren der Wiederimpfungsschein).
o muss auch das letzte Zeugnis dieser
die unterste Klasse ist das zurückgelegte
rmalalter für die übrigen Klassen. Als Vor-
erden verlangt: 1) Fertigkeit im Lesen des
2) Die Fähigkeit, dictierte deutsche Sätze in
rzuschreiben. 3) Kenntnis der vier Rechnungs-
sich Montag den 14 September Morgens um
ünschen, zur Nachprüfung einzustellen. Um
.
werden alle Examinierten in dem Zeichensaal
m $11^1/_2$ haben sich sämtliche Schüler in ihre
eren Curse zunächst alle in diejenigen Zimmer,

Dr. G. Uhlig.

DIE ERFORSCHUNG DER SCHWERE

DURCH

GALILEI, HUYGENS, NEWTON

ALS

GRUNDLAGE DER RATIONELLEN KINEMATIK UND DYNAMIK

HISTORISCH-DIDAKTISCH

DARGESTELLT VON

JULIUS HENRICI.

Salv. Vedete, come è facile da intendersi.
Sagr. Tali sono tutte le cose vere, dopo che son trovate, ma il punto sta nel saperle trovare.

Non mi par tempo opportuno di entrare al presente nell' investigazione della causa dell' accelerazione del moto naturale.

[BEILAGE ZUM JAHRESBERICHT DES HEIDELBERGER GYMNASIUMS FÜR DAS SCHULJAHR 1884—85.]

LEIPZIG,
DRUCK VON B. G. TEUBNER.
1885.

1885. Progr. Nr. 551.

qhe
4
(1885)

Kirchhoff bezeichnet als Aufgabe der Mechanik, „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben“ (Vorl. über Mech.). Der Anspruch der älteren Mechanik, die Bewegungserscheinungen zu begründen, wird hiermit fallen gelassen, wie denn gröfsere Einsicht häufig vermehrte Selbstbeschränkung im Gefolge hat. Daher finden wir in Kirchhoffs Werk nichts von Kräften als bewegenden Ursachen, vom Beharrungsvermögen, von der Menge der Materie, was alles man in älteren Lehrbüchern der theoretischen Mechanik nicht entbehren zu können glaubte. Zwar benützt auch Kirchhoff die Worte Kraft und Masse. Zunächst wendet er nach Newtons Vorgang den Ausdruck „beschleunigende Kraft“ identisch mit Beschleunigung an (S. 5). Man könnte vermuten, dafs die zweite Bezeichnung für dieselbe Sache nur als Zwischenstation gelten solle, um in der Folge (S. 23) nicht zu sehr zu überraschen, wenn die rein kinematischen Gröfsen der Beschleunigungen, nachdem sie jeweils mit einem kleinen Faktor m versehen sind, welcher „Masse“ genannt wird, sofort als „Kräfte“ bezeichnet werden. Wir finden hier Kraft und Materie vollständig ihrer physischen wie metaphysischen Erkennungszeichen beraubt und zu blofsen Koefficienten oder Produkten herabgesetzt. — Andrerseits glaubt die Physik nichts von diesen Begriffen entbehren zu können. Wenn auch die Ausdrucksweise hie und da vorsichtiger geworden ist, so finden wir doch mit diesen Begriffen in unsern bestrenommierten Lehrbüchern der Physik noch dieselben Anschauungen verknüpft, welche die Begründer der Mechanik Galilei, Huygens und Newton aus dem Studium der Erscheinungen geschöpft haben. Wir wollen nun zunächst zusehen, was uns von diesen ersten Quellen der Mechanik übrig bleibt, wenn wir den Kraftbegriff vollständig beiseite lassen und nur die Bewegungserscheinungen ins Auge fassen, sodann aber untersuchen, wie sich die Begriffe Kraft und Masse bei denselben Forschern entwickelt haben. In der theoretischen Mechanik ist eine solche Trennung der Bewegungs- und der Kräftelehre nicht neu; wir besitzen in der Mechanik von Schell ein Werk, welches diesen Gegensatz in mustergültiger Weise durchführt. Aber auch in der geschichtlichen Darstellung des Ursprungs der Gravitationsmechanik wird die Bedeutung der einzelnen Fortschritte in der Erkenntnis durch die Scheidung von Kinematik und Dynamik klarer hervortreten. Vor dem Verdachte, als sollte hier auf die zur Zeit auftauchenden Hypothesen über die Schwere eingegangen werden, soll unser Motto uns bewahren; wir beabsichtigen gegenteils, Hypothetisches in der Erforschung der Schwere möglichst als solches zu kennzeichnen und von dem Thatsächlichen zu sondern. Wir werden sehen, wie sich Hypothetisches in die Untersuchungen mischte, sobald man sich nicht mehr begnügte, „die Bewegungen zu beschreiben“.

I. Kinematik der Schwere.

§ 1. Die Fallbewegung, das erste Beispiel gleichförmig beschleunigter Bewegung.

In Galileis berühmten Dialogen über die beiden Weltsysteme des Ptolemäus und Kopernikus und über Mechanik hat er seinem Freunde Salviati seine eigene Meinung in den Mund gelegt; sein Freund Sagredo ist zugleich Hörer und Förderer der neuen Lehre, indem er durch geistreiche Einfälle oder durch veränderte Auffassung die Sache weiterführt; der Name des die alte Lehre verteidigenden Peripatetikers Simplicio ist einem Kommentator des Aristoteles entlehnt; für Galilei wurde es verhängnisvoll, dafs Papst Urban VIII. sich einreden liefs, er selbst sei mit letzterem gemeint. — Wir finden Galilei noch ganz auf dem Boden der Beschreibung der Bewegungen. Für ihn bestand zunächst die Aufgabe, die Bewegungserscheinungen zu erkennen und diese Kenntnis von den zahlreichen Irrtümern zu befreien, welche blofse Meinungen und oberflächliche Beobachtungen zur Geltung gebracht hatten. Sein Hauptverdienst bei diesem Gegenstand beruht auf der Erforschung der Fallbewegung und der Erkenntnis der Zusammensetzung der Bewegungen im Wurfe. Wir haben bei ihm nicht das Kinematische von dem Dynamischen zu sondern; denn das letztere tritt bei ihm in den Hintergrund. Seine erste Untersuchung der Fallbewegung wies gerade nach, dafs die dynamischen Verschiedenheiten der Gewichte auf den Fall gar keinen Einfluss haben, sondern alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen. Auf Sagredos Vorschlag, eine Kugel von bestimmtem Gewicht ihren Betrachtungen zu Grunde zu legen, erwidert Salviati: „Dies ist ganz gleichgültig, denn ob die Kugel 1 oder 10 oder 100 oder gar 1000 Pfund wiegt, immer wird sie in derselben Zeit einen bestimmten Weg von etwa 100 Ellen zurücklegen.“

Simpl. „Das kann ich so wenig glauben als Aristoteles, welcher lehrt, die Geschwindigkeiten fallender Körper ständen untereinander im selben Verhältnis, wie ihre Gewichte.“ Salv. „Wenn Ihr in der That, Herr Simplicio, diese Behauptung aufstellen wollt, müfst Ihr auch glauben, dafs von zwei Kugeln aus einerlei Stoff, einer einpfündigen und einer hundertpfündigen, welche gleichzeitig von einer Höhe von 100 Ellen zu fallen beginnen, die schwerere auf der Erde auftreffe, während die kleinere nur eine Elle gefallen wäre. Nun seht zu, ob Ihr glauben könnt, dafs die gröfsere Kugel die Erde berühre, während die kleinere noch nicht um Armeslänge von der Spitze des Turmes entfernt wäre.“ — An anderer Stelle nötigt Salviati den Simplicio durch sokratisches Ausfragen zu der Annahme, dafs jedem Körper eine bestimmte Geschwindigkeit des Fallens zukomme. Salv. „Wenn wir also zwei Körper miteinander verbinden, deren Fallgeschwindigkeiten ungleich sind, so ist es offenbar, dafs der schnellere von dem langsameren etwas zurückgehalten, dieser aber von dem schnelleren beschleunigt werde. Wenn aber dies sich so verhält, wird zugleich wahr sein, dafs, wenn ein gröfserer Stein, der z. B. die Geschwindigkeit 8 hat, und ein kleinerer, dessen Geschwindigkeit 4 ist, verbunden werden, die verbundene Masse mit einer Geschwindigkeit, die kleiner als 8 ist, bewegt werde; also würde hier das gröfsere Gewicht 12 mit geringerer Geschwindigkeit bewegt, als das kleinere 8, was gegen Eure Annahme ist. Ihr seht also, wie aus der Annahme, das Schwerere bewege sich rascher, ich schliefse, das Schwerere werde minder rasch bewegt.“ Nun zeigt Salviati, dafs ein Teil einen andern auch nicht beschleunigen oder drücken könne, wenn beide mit gleicher Geschwindigkeit fallen. Indem Galilei auf den Einflufs der Luft übergeht, mufs er gar die Annahme widerlegen, die Luft fördere die Bewegung; er zeigt, wie die Vergröfserung der Oberfläche eines Körpers die Bewegung nicht fördert,

sondern hemmt, obgleich hierbei die Zahl der Angriffspunkte für die Luft zunimmt. Dafs im luftleeren Raum die Körper thatsächlich gleich schnell fallen, schliefst er nach der Methode, welche von Mill als diejenige der „gleichlaufenden Veränderungen“ bezeichnet wird. Er vergleicht den Fall in der Luft mit dem im Wasser und kommt zu dem Schlufs: je dichter das Medium ist, in welchem die Körper fallen, desto gröfser ist der Unterschied in ihren Fallgeschwindigkeiten. Während im Wasser die Körper mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten, ja manche gar nicht fallen, sondern aufsteigen, ist die Fallgeschwindigkeit der Körper in der so viel dünneren Luft nur unmerklich verschieden. „Wenn wir bemerken, dafs Körper von verschiedenem Gewicht, sobald sie in immer feinere Medien gebracht werden, in ihren Geschwindigkeiten immer weniger voneinander abweichen, — so scheint mir die Vermutung annehmbar, dafs im luftleeren Raume die Geschwindigkeiten vollständig gleich sein werden.“ Die experimentelle Bestätigung sollte erst Guerricke geben; Galilei findet sie in dem Isochronismus der Schwingungen gleichlanger Pendel von verschiedenen Stoffen.

Salviati bezeichnet zu Anfang des dritten Dialoges über Mechanik die gleichförmig beschleunigte Bewegung als eine solche, bei welcher die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten immer den gleichen Zuwachs erfahre. Sagredo meint, eine solche Definition sei etwas Willkürliches, es sei aber die Frage, ob die fallenden Körper in der That eine solche Bewegung machen. Es trete ihm da gleich von vornherein eine Schwierigkeit in betreff des Beginnes der Bewegung entgegen. Wenn nämlich der fallende Körper in einer bestimmten Zeit einen gewissen Grad der Geschwindigkeit erlangt habe, so müsse er in der Hälfte der Zeit die halbe Geschwindigkeit gehabt haben, in $\frac{1}{4}$ der Zeit $\frac{1}{4}$ der Geschwindigkeit, so dafs bei der fortgesetzten Teilbarkeit der Zeit für den Beginn der Bewegung gar kein messbarer Grad von Geschwindigkeit übrig bleibe. Salviati behauptet, die Erfahrung bestätige dies: wir können auf die erlangte Geschwindigkeit aus der Gröfse des Stofses schliefsen, welchen der Körper beim Fallen hervorbringt; wenn ein Hammer, der aus vier Ellen Höhe auf einen Pfahl fällt, diesen etwa vier Finger breit in die Erde stöfst, so wird er ihn aus zwei Ellen Höhe fallend bei weitem weniger tief einrammen, und wenn er nur fingerbreit herabfällt, wird er kaum mehr bewirken, als wenn er ohne Stofs auf jenen Pfahl gelegt würde. „Sicher ist, dafs verschwindend klein und ganz unbemerkbar die Wirkung sein würde, wenn er aus einer Höhe gleich der Dicke eines Blattes herunterfiele.“ Da die Wirkung des Stofses von der Geschwindigkeit des stofsenden Körpers abhängt, wer wolle zweifeln, dafs jene anfängliche Bewegung aufs langsamste vor sich gehe.

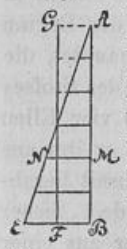
Nachdem die Thatsache des Wachsens der Geschwindigkeit beim Fallen zugegeben, meint Sagredo, die Geschwindigkeit wachse in gleichem Verhältnis mit dem Weg. „Es scheint mir nicht zweifelhaft, dafs der Körper, welcher aus einer Höhe von sechs Ellen kommt, den doppelt so grofsen Stofs ausüben könne, als wenn er aus drei Ellen Höhe herabgefallen wäre.“

Salv. „Es ist mir ein grofser Trost, einen solchen Gefährten im Irrtume zu haben, und ich will Euch gestehen, dafs Eure Äufserung einen solchen Grad von Wahrscheinlichkeit und Glaubwürdigkeit besitzt, dafs unser gemeinsamer Lehrer in derselben Täuschung befangen war. Worüber ich aber am meisten staunte, war, dafs er mir mit ein paar Worten diese Annahme nicht blofs als falsch, sondern sogar als unmöglich darstellte.“ — „Wenn die Geschwindigkeiten dasselbe Verhältnis haben, wie die durchlaufenen oder zu durchlaufenden Wege, so würde ein Körper, während er von vier Ellen herabfällt, doppelt so grofse Geschwindigkeiten besitzen, als

diejenigen sind, mit welchen er zuvor zwei Ellen herabgefallen ist; alsdann müſsten beide ungleiche Wegestrecken in gleicher Zeit zurückgelegt werden, was unmöglich ist.“ Es scheint hier Galilei jene Darstellung der kinematischen Gröſsen vorgeschwebt zu haben, die er auch in der Folge benützte: die Zeit wird als Abscisse, die zugehörige Geschwindigkeit als Ordinate angetragen; der Weg ist dann der Fläche proportional, welche die Ordinate beschreibt. Für den doppelten Weg nimmt er gleich von Anfang die Ordinaten zu je einem Zeitpunkt doppelt so groſs als für den einfachen Weg; da dann die Fläche ebenfalls doppelt so groſs werden soll, so muſs die Abscisse, d. i. die Zeit die gleiche bleiben. Dies hat er aber eigentlich schon vorausgesetzt, indem er für einerlei Zeitpunkt jenes Verhältnis der Ordinaten annahm*).

Sagredo läſst nun die Definition gelten: „Gleichförmig beschleunigt nennen wir die Bewegung, welche in gleichen Zeiten den gleichen Zuwachs an Geschwindigkeit erhält,“ worauf Salviati dazu schreitet, das Verhältnis zwischen Weg und Zeit bei einer solchen Bewegung abzuleiten. Es werden gleiche Zeitabschnitte geometrisch dargestellt durch gleiche aneinander gereihte Strecken einer Geraden AB (Fig. 1), die Gröſsen der Geschwindigkeiten in den einzelnen Zeitpunkten durch normale Strecken zu den betreffenden Punkten. Ist EB die in der Zeit AB erlangte Geschwindigkeit, so müssen die den andern Zeitpunkten entsprechenden Geschwindigkeiten durch Strecken vorgestellt werden, deren Endpunkte in die Gerade AE fallen, da $NM : EB = AM : AB$. Ist F die Mitte von EB und $FG \parallel AB$, so stellen die in FG begrenzten Ordinaten für jeden Zeitpunkt die Geschwindigkeit einer gleichförmigen Bewegung dar, welche $= \frac{EB}{2}$ ist. In der ersten Hälfte der Zeit sind die Geschwindigkeiten der gleichförmigen Bewegung um ebensoviel gröſser, als sie in der zweiten Hälfte kleiner sind als bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung. Daraus leuchtet ein (patet igitur), daſs zwei Körper in einerlei Zeit gleiche Wege machen, wenn der eine gleichförmig beschleunigt aus der Ruhelage sich bewegt und der andere gleichförmig mit der Hälfte der Endgeschwindigkeit des ersteren. (Wir erkennen hierin eine versteckte Integration, bei welcher die Gröſse der Wegelemente durch die Flächenelemente des Dreiecks ABE und des Rechtecks $ABFG$ vorgestellt sind.) Die den Zeiten AM und AB entsprechenden Wege verhalten sich wie die Flächen $AMN : AEB = AM^2 : AB^2$, d. h. die Wege sind den Quadraten der Zeiten proportional. Hiermit war die Grundlage für die bekannten Formeln:

Fig. 1.



$$v = gt, \quad s = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{1}{2} gt^2, \quad v^2 = 2gs$$

*) Die Unmöglichkeit der Bewegung unter den angenommenen Bedingungen ergiebt sich folgendermaſsen. Es sei $\frac{ds}{dt} = as$, so ist

$$\int \frac{1}{s} ds = a \int dt, \quad \log \text{nat.}\, s = at + b, \quad s = e^{at+b}.$$

Die Integrationskonstante wird durch den Beginn der Bewegung, d. h. für $t = 0$ bestimmt; es ist dann $s_0 = e^b$. Das s obiger Formel stellt also nicht den Weg seit Beginn der Bewegung $\sigma = s - s_0$, sondern eine um s_0 gröſsere Strecke dar, m. a. W. die Geschwindigkeit wäre dann proportional der je um eine bestimmte Strecke s_0 vergröſserten Wegstrecke: $v : v_1 = (\sigma + s_0) : (\sigma_1 + s_0)$, während Galileis Annahme erfordert, daſs eben auch $s_0 = 0$, $e^b = 0$, $b = -\infty$ sei, also $s = e^{at-\infty}$, $t = \infty$, d. h. zu jedem bestimmten Weg würde unendlich viel Zeit erfordert, was mit Galileis Ergebnis insofern übereinstimmt, als auch hier für irgend zwei Wegstrecken der Zeitunterschied verschwindend klein ist im Verhältnis zu der Gröſse der Dauer der Bewegung selbst.

gewonnen und Galilei leitet, ohne natürlich von solchen Formeln Gebrauch zu machen, alles ab, was unsere Lehrbücher der Physik hierüber enthalten. Den experimentellen Beweis lieferte Galilei durch zahlreiche Versuche mit Kugeln, welche in einer geneigten Fallrinne herabrollten. „Indem wir die Zeit des Fallens durch die ganze Länge mit der Zeit durch $\frac{1}{2}$ oder $\frac{2}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ oder irgend eines andern Teils verglichen, ergab sich immer, dafs die durchlaufenen Wege sich wie die Quadrate der Zeiten verhielten. Dies blieb ebenso bei allen Neigungen der Rinne gegen die wagrechte Lage. Was nun die Messung der Zeit betrifft, so war ein grofser Eimer voll Wasser aufgehängt, von welchem sich durch ein Röhrchen am Boden ein feiner Wasserstrahl ergofs; dieser wurde durch einen kleinen Becher aufgefangen während der Zeit, in welcher die Kugel durch die Rinne oder deren Teile herabrollte; hernach wurden jene aufgefangenen Wassermengen aufs genaueste in jedem einzelnen Falle auf der Wage gewogen, wobei nun die Verhältnisse der Gewichte uns die Verhältnisse der Zeiten anzeigten und zwar so genau, dafs jene oft wiederholten Versuche nie merkbar abweichende Ergebnisse lieferten."

§ 2. Die Wurfbewegung als erstes Beispiel der Zusammensetzung von Bewegungen.

Wenn man in Galileis Dialogen über die Weltsysteme die Fülle von Betrachtungen und Erläuterungen der Bewegungserscheinungen verfolgt, mit welchen er die Einwände gegen die Drehung und Fortbewegung der Erde zurückweist, wird man geneigt zu glauben, dafs er durch die Versuche, die Erdbewegung zu begründen, zu den grundlegenden Prinzipien der Mechanik geführt worden sei. Der wichtige Satz vom Beharren in der Bewegung wurde von ihm auch hauptsächlich nur in der Beschränkung erkannt, wie er zur Erklärung der Erscheinungen unter der Annahme einer rotierenden Erde notwendig war, nämlich nur für die horizontale Bewegung (Wohlwill, Gesch. d. Entdeck. des Beharrungsgesetzes). Dem Einwand, dafs ein fallender Körper bei der Bewegung der Erde gegen Osten selbst zurückbleiben müsse gegen Westen, stellt er die eigene Beobachtung entgegen, dafs ein vom Maste eines bewegten Schiffes fallender Stein auf dieselbe Stelle des Schiffes falle, wie wenn dasselbe ruhig vor Anker läge. Hier haben wir die Zusammensetzung zweier Bewegungen: während der Stein fällt, setzt er seine Bewegung mit dem Schiffe fort, als ob ihn eine feste Bahn in lotrechter Geraden mit dem Schiff verbände; er fällt in dieser Bahn, als ob sie gar nicht bewegt wäre, so dafs auch seine Fallzeit dieselbe ist, wie bei ruhendem Schiffe.

Alle Bewegungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre sind solche relative Bewegungen in selbstbewegten Bahnen. Es werden diese Bewegungen verglichen mit denen, welche die Feder eines Schreibers oder Zeichners macht auf einer Schiffahrt von Alexandrien nach Venedig; die Bewegungen scheinen ganz so vor sich zu gehen, als ob der Tisch still stände, während sich eine ganz andere langgestreckte Linie in bezug auf die Erdoberfläche ergeben müfste. Da Simplicio seine Freude über diese Betrachtung ausspricht, wartet ihm Sagredo mit einer weiteren Merkwürdigkeit auf, nämlich der, dafs die Spitze eines bewegten Mastes eine gröfsere Bewegung mache, als der unterste Teil, da er, weiter vom Erdmittelpunkt entfernt, einen gröfseren Kreis zu beschreiben habe. Galilei macht noch die scherzhafte Bemerkung, dafs hiernach unsere Köpfe gröfsere Wege machen, als die Füfse; es fällt ihm jedoch nicht ein, dafs hieraus ein experimenteller Beweis für die Drehung der Erde sich ergeben könnte, wie dies Newton erkannte. Die Bewegung einer lotrecht abgeschossenen Kugel ist ebenfalls bedingt durch die Bewegung, welche

sie vor dem Schusse hatte; diese Bewegung behält sie bei und kommt wieder zur Kanone zurück. Sagredo weist darauf hin, dafs schon innerhalb des Rohres die Bewegung der Kugel zusammengesetzt sei aus derjenigen längs des Rohres und der des Rohres selbst und dafs der Weg der Kanone selbst, während die Kugel sie durchläuft, gröfser sei als derjenige der Kugel in ihr nicht blofs für den Fall, dafs die Kanone am Erdäquator stände, sondern auch auf unserem Parallel. (Letzteres gilt nicht für unsere moderne Geschütze.) Wir sehen hier in dem Geschützrohr eine physisch vorliegende feste Bahn, welche selbst bewegt wird. So wurde man zu dem Begriff der Zusammensetzung der Bewegungen gedrängt als einer Bewegung in einer Bahn, die selbst wieder bewegt wird.

Auch der ungestörte Flug der Vögel, welcher schon von Ptolemäus als Einwand gegen die Erdbewegung vorgebracht worden ist, wird besprochen. Das was diese Art der Bewegung unverändert erhält, ist die Luft selbst, die in ihrer Bewegung alles mit sich führt. „Gehet in eine gröfsere Kajüte eines Schiffes und sorget darin für die Anwesenheit von Mücken, Schmetterlingen und andern fliegenden Tieren, für ein Gefäfs mit Fischen; aus einem Eimer mögen Wassertropfen in ein enges untergestelltes Gefäfs fallen, und Ihr werdet sehen, dafs alle Bewegungen dieser Dinge im bewegten Schiff, wenn die Bewegung desselben nur gleichförmig ist und dasselbe nicht herüber und hinüber schwankt, genau dieselben sind, wie wenn das Schiff ruhig steht.“ Wenn uns auch heute in der Bewegung eines Eisenbahnzuges noch auffälligere Bestätigungen der Galileischen Anschauung geboten sind, so kann diese doch nicht drastischer dargelegt werden, als es Galilei selbst gethan hat.

Wir können als Resultat dieser Betrachtungen den Satz aufstellen, den zwar Galilei selbst nicht ausspricht, aber seine Nachfolger als unmittelbare Frucht der Lectüre seiner Werke schöpften (s. Wohlwill, Beharrungsgesetz, S. 111):

Die Zusammensetzung zweier Bewegungen zu einer einzigen findet in der Weise statt, dafs die eine Bewegung ungestört in der durch sie allein vorgeschriebenen Bahn vor sich geht, während jeder Punkt dieser Bahn die andere Bewegung ausführt.

Das Gesetz vom Beharren in der Bewegung ist damit ausgesprochen, soweit es sich nicht um die Kraft des Beharrens handelt.

Durch diesen axiomatischen Satz wird erst die Kinematik als deduktive Wissenschaft möglich; denn hiernach ist nun die Analyse und Synthese der Bewegungen ausführbar.

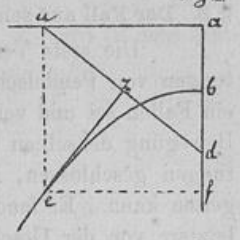
Für zwei gleichgerichtete geradlinige Bewegungen ergiebt sich hieraus als Gesamtweg die Summe der Einzelwege, für gegengerichtete die Differenz. Für beliebige andere Bewegungen folgt als Fundamentalsatz der Kinematik:

Bei der Zusammensetzung zweier Bewegungen ist der Ort des Punktes in irgend einer Zeit die dem Ausgangspunkt gegenüberliegende Ecke eines Parallelogramms, dessen beide anderen Ecken die Orte sind, zu welchen jede Bewegung für sich den Punkt in jener Zeit geführt hätte.

Die Zusammensetzung zweier geradlinigen gleichförmigen Bewegungen zu einer solchen in der Diagonale des entsprechenden Parallelogramms war schon im Altertum bekannt und wird von Aristoteles erwähnt. Galilei konnte nun mit Hilfe dieses Prinzips leicht die Bahn des geworfenen Körpers konstruieren. Zwar behandelt er nur den Fall des horizontalen Wurfes, da ihm nur hierfür feststand, dafs die horizontale Bewegung nicht durch die Fallbewegung gestört werde; aber Galileis Schüler Baliani, Cavalieri und Torricelli nehmen sofort das Gesetz für das ungestörte Weiterbewegen in jeder Richtung an (siehe Wohlwill S. 111 ff.). Während man vor

Galilei die Bahn eines geworfenen Körpers aus geraden und kreisförmigen Teilen zusammengesetzt hielt, wies Galilei nach, dafs die Bahn eine stetig gekrümmte Kurve, eine Parabel sei. Er zeigt nämlich, dafs in dem Kegelschnitt, welcher parallel einer Seite des Kegels gelegt ist, die Quadrate der Ordinaten den Abscissen proportional sind; der Weg in wagrechter Richtung ist (Fig. 2) $y = fe = ct$, in lotrechter $x = bf = \frac{1}{2} g t^2$, woraus $y^2 = \frac{2c^2}{g} \cdot x$ folgt, was der genannten Proportion entspricht. Die Geschwindigkeit in irgend einem Punkte der Bahn stellt er durch eine Strecke dar, welche wir leicht durch die Strecke du vom Brennpunkt d der Parabel normal zur Tangente des Punktes bis zur Leitgeraden au ersetzen (vgl. unten Planetenbewegung). Es ist nämlich $ad = \frac{c^2}{g}$ und $au = y = ct$, $du^2 = \frac{c^2}{g^2}(c^2 + g^2 t^2)$, während die Geschwindigkeit V in e zusammengesetzt ist aus der horizontalen c und der vertikalen $v = gt$, also $V^2 = c^2 + g^2 t^2$, $V = \frac{g}{c} \cdot du$. Torricelli giebt dann die weitere Ausführung, die Beziehungen zwischen Elevation und Wurfweite u. s. w., wie dies unsere Lehrbücher darstellen.

Fig. 2.



Die Anwendung des Prinzips der Zusammensetzung der Bewegungen zur Erklärung der beschleunigten Fallbewegung selbst finden wir bei Cavalieri und Torricelli nur andeutungsweise (Wohlwill, S. 131), bei Baliani und Gassendi in einem mifsglückten Versuch (Eb. S. 134 und 137), schliefslich bei Huygens (Horologium oscillatorium, pars II). Fällt ein Körper in der ersten Sekunde um die Strecke s_1, so ist sein Weg in der zweiten Sekunde zusammengesetzt aus dem Weg g, welchen der Körper mit der am Ende der ersten Sekunde erlangten Geschwindigkeit g allein, und dem Wege s_1, welchen er vermöge der Schwere wie in der ersten Sekunde zurücklegen würde; der Weg in der zweiten Sekunde ist also $g + s_1$. Ferner ist die Geschwindigkeit am Ende der zweiten Sekunde doppelt so grofs, als am Ende der ersten, indem eben zu jener Geschwindigkeit durch die Schwere wieder ebenso viel hinzugefügt wird. Der Weg in der dritten Sekunde ist somit $2g + s_1$, in der vierten Sekunde $3g + s_1$. Das Verhältnis der Gesamtwege in den Zeiten 1 und 2 mufs nun dasselbe sein, wie in den Zeiten 2 und 4, da die Zeiteinheit hierbei willkürlich ist, also: $\frac{s_1}{g + 2s_1} = \frac{g + 2s_1}{6g + 4s_1}$, woraus folgt $s_1 = \frac{g}{2}$. Nun ergiebt sich für die Wege in den einzelnen Sekunden $\frac{g}{2}, \frac{3g}{2}, \frac{5g}{2}, \frac{7g}{2}$ und in der Zeit t der Weg: $s = \frac{1}{2} g t^2$.

Ebenso leitet Huygens die Gesetze des Aufsteigens eines vertikal geworfenen Körpers ab, indem er die Geschwindigkeit und den Weg als zusammengesetzt aus denen einer gleichförmigen Bewegung nach oben und einer gleichförmig beschleunigten Bewegung nach unten betrachtet, wie dies den Gleichungen entspricht:

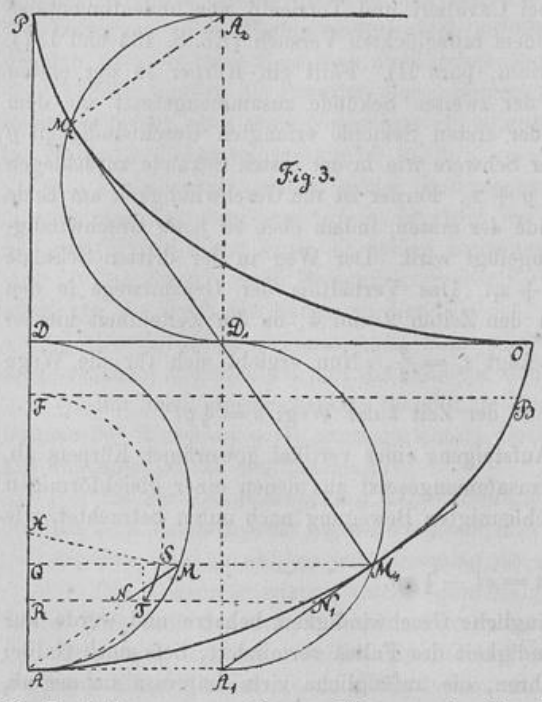
$$v = c - gt, \quad s = ct - \tfrac{1}{2} g t^2.$$

Während hier angenommen ist, die anfängliche Geschwindigkeit beharre und werde nur durch die wachsende abwärts gerichtete Geschwindigkeit des Falles vermindert, liefs noch Galilei seinen Sagredo (III. Dial. über Mechanik) ausführen, die anfängliche virtu impressa nehme ab, während die Wirkung der Schwere konstant bleibe; so steige denn der Körper, bis beide gleich grofs sind; dann falle er, indem die virtu impressa noch weiter abnehme, die der Schwere aber beharre, und daher nehme die Geschwindigkeit des fallenden Körpers zu; auch durch das Fest-

halten allein erhalte der Körper eine solche virtu, die beim Loslassen und Fallen abnehme. Freilich geht Salviati, der eigentliche Vertreter von Galileis Lehrmeinung, nicht hierauf ein, indem er es für nicht opportun erklärt nach der Ursache der Fallbeschleunigung zu forschen (vgl. Wohlwill S. 37).

§ 3. Der Fall auf schiefer Bahn und die Pendelbewegung als erste Beispiele unfreier Bewegungen.

Die erste Veranlassung zur Untersuchung der Fallbewegung soll Galilei in den Beobachtungen von Pendelschwingungen gefunden haben. Er erklärte, dafs die Bewegung des Pendels ein Fallen sei und verglich die Bewegung desselben mit der auf einer schiefen Bahn. Dafs letztere Bewegung denselben Gesetzen gehorche, wie die freie Fallbewegung, hatte er aus Pendelbeobachtungen geschlossen, bei welchen die Bahn als zusammengesetzt aus einer Reihe schiefer Bahnen gelten kann. Er fand nämlich, dafs bei gleicher Fallhöhe auch die Steighöhe die gleiche sei; da letztere von der Geschwindigkeit im tiefsten Punkte abhängt, so nahm er als Axiom an, dafs die Geschwindigkeiten der Körper, welche um die gleiche Höhe lotrecht oder schief herabgefallen sind, einander gleich seien: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g_1 s_1}$, woraus sich ergab, dafs die Geschwindigkeit auf schiefer Bahn ebenso im Verhältnis mit der Zeit zunimmt, wie bei freiem Fall, und nur die Beschleunigung im Verhältnis der Höhe zur Länge der schiefen Bahn vermindert wird: $g_1 : g = h : s_1$. — Da die Fallzeiten bei gleicher Neigung den Quadratwurzeln der Wege proportional, $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$, und da bei ähnlichen Bogen zweier Pendel die Wege und Fallhöhen den Längen l und l_1 der Pendel proportional sind, so wurde er zu dem bekannten Pendelgesetz geleitet:



$$t : t_1 = \sqrt{l} : \sqrt{l_1}.$$

Auch Huygens nimmt für die Bewegungen auf schiefen Bahnen an, dafs die erlangte Geschwindigkeit für gleiche Höhenunterschiede die gleiche ist, indem bei gegenteiliger Annahme ein Körper durch die auf einer Bahn erlangte Geschwindigkeit auf einer andern Bahn höher steigen könnte, als er gefallen sei, was absurd sei (Horol. oscill. pars II, prop. VI). Über eine Geschwindigkeitsänderung, welche ein Übergang von einer Ebene auf eine andere zur Folge haben könnte, macht er sich keine Skrupel, indem er die Sache eben rein kinematisch auffafst. — Für die Pendelbewegung gelang es Huygens das Fundamentalgesetz abzuleiten, indem er von der Fallbewegung auf der Cykloide ausging. Die Cykloide werde von einem Punkt A (Fig. 3) beschrieben, während der Kreis um AD auf der Geraden DD_1 fortrollt; ist dieser um den Bogen $AM = DD_1$

weitergerollt, so ist A nach M_1 gekommen, wenn Bogen $A_1M_1 = AM$ ist; somit ist $MM_1 \# DD_1 \# AA_1$. Dafs A_1M_1 Tangente in M_1 ist, weist Huygens nach, indem er die Veränderung der Strecke MM_1 bei kleiner Verschiebung ins Auge fafst; es läfst sich dies auch daraus schliefsen, dafs bei einer minimalen Weiterbewegung des Kreises der Punkt D_1 die kleinste Bewegung macht, so dafs die Bewegung annähernd als Drehung um diesen Punkt zu betrachten ist und somit die Bewegungsrichtung von M_1 normal zu M_1D_1. Ist der Körper auf der Cykloide von B bis M_1 gefallen, so ist seine Geschwindigkeit $= \sqrt{2g \cdot FQ}$ und das Bahnelement M_1N_1 wird in dem Zeitelement $\tau = \frac{M_1N_1}{\sqrt{2gFQ}}$ zurückgelegt. Nun ist $M_1N_1 = MN = QR \cdot \frac{AM}{AQ} = QR\sqrt{\frac{AD}{AQ}}$, somit:

$$\tau = QR \cdot \sqrt{\frac{AD}{2gAQ \cdot FQ}} = \frac{QR}{QS} \cdot \sqrt{\frac{AD}{2g}}.$$

Ist ST das Bogenelement des Kreises um AF, dessen Mittelpunkt in X, so folgt $QR : QS = ST : XS$, also:

$$\tau = \frac{ST}{XS} \cdot \sqrt{\frac{AD}{2g}}.$$

Da der Faktor bei ST konstant für die Bewegung von B bis A, so ist die Summe aller Zeitelemente: $\Sigma\tau = \sqrt{\frac{AD}{2g}} \cdot \frac{\Sigma ST}{XS}$, oder die Zeit einer Viertelschwingung, in welcher der Körper von B bis A fällt, ist:

$$\frac{t}{4} = \sqrt{\frac{AD}{2g}} \cdot \frac{\pi XS}{XS}, \qquad t = 2\pi\sqrt{\frac{2AD}{g}}.$$

Diese Gröfse ist von der Lage des Ausgangspunktes B unabhängig; die Schwingungen von allen Punkten der Cykloide aus sind isochron. — Der Übergang von der Bewegung auf der Cykloide zu der kreisförmigen Bewegung eines Pendels wird von Huygens durch den Nachweis bewirkt, dafs die Cykloide Evolute einer Cykloide ist, d. h. dafs die Cykloide durch Abwickeln eines Fadens von einer gleichen Cykloide entsteht. Zeichnen wir $A_2M_2D_1$ diametral $A_1M_1D_1$ zu D_1 als Zentrum, so ist M_2 der Punkt einer Cykloide, welche der Punkt P des von PD ab auf PA_2 rollenden Kreises erzeugt, da auch Bogen $A_2M_2 = PA_2$; D_1M_2 ist Tangente dieser Cykloide. Gehen aber von einem Punkt O zwei Kurven aus derart, dafs die Tangenten der einen Kurve Normale der anderen sind, so ist die eine die Evolute der anderen; denn für die Evolute gilt diese Beziehung, kann aber nicht zugleich für eine weitere Kurve gelten (Horol. oscill. pars III. prop. IV). Wenn ein Faden von der Länge $l = PA = 2AD$ um P schwingt, während er sich an die Kurve PM_2O anschmiegt, so beschreibt er die Cykloide AM_1O. (Der Krümmungsmittelpunkt zu M_1 liegt also thatsächlich in M_2.) Für kleine Schwingungen um die Ruhelage PA wird die Bahn eines gewöhnlichen Pendels mit der cykloidischen übereinstimmen; daher ist die Schwingungsdauer für ein solches Pendel bei kleinen Schwingungen:

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Hiermit ist ein Mittel gegeben zur Bestimmung der Fallbeschleunigung: $g = \frac{4\pi^2 l}{t^2} = 9{,}81$ m. Diese Ableitung ist eine rein kinematische, soweit sie das einfache Pendel betrifft. Dagegen mufste Huygens zur Bestimmung des Schwingungspunktes eines zusammengesetzten Pendels die Gewichte der ein-

zelnen Teile in Rechnung bringen.*) Der Begriff der Masse war ihm aber noch nicht geläufig, was besonders hervorzuheben ist, da Newton aus der Bewegung verschiedener Pendel glaubte schliefsen zu können, die Massen seien den Gewichten proportional.

Erst nachdem die Proportionalität von Kraft und Beschleunigung erkannt worden war, lernte man aus der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte rückwärts auf die der Beschleunigungen schliefsen. Nach unserem Plan soll jedoch der Kraftbegriff erst herangezogen werden, nachdem wir gesehen, wie weit wir ohne denselben gelangen.

In der modernen Mechanik werden die eben behandelten Probleme durch die Zerlegung der Bewegungen erledigt. Aus den oben angegebenen Prinzipien der Zusammensetzung der Bewegungen folgen nämlich unmittelbar die Sätze, welche als die vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten und der Beschleunigungen bezeichnet werden. Die Zerlegbarkeit der Bewegungen ist nur eine einfache Konsequenz ihrer Zusammensetzbarkeit. Wir können irgend welche Geschwindigkeit oder Beschleunigung aus zwei oder mehreren zusammengesetzt denken; ja wir können einem Körper, welcher gar keine Beschleunigung hat, zwei entgegengesetzte oder auch drei solche zuschreiben, welche im Verhältnis der Seiten eines Dreiecks stehen und in den Richtungen derselben statthaben. Für die unfreie Bewegung ergiebt die Erfahrung folgenden Satz, welcher in einer reinen Mechanik als Definition der Bewegung in fester Geraden oder Ebene gelten mufs:

Ein Körper ist nur in einer festen Geraden oder Ebene beweglich, sobald eine Geschwindigkeit oder Beschleunigung, welche normal zu derselben ist, gar nicht, dagegen eine solche in Richtung derselben vollständig zur Geltung kommt.

Die Gerade oder Ebene fügt somit jeder normalen Beschleunigung eine gleiche, aber entgegengesetzte hinzu. Da jede Beschleunigung in eine normale Komponente und in ihre Normalprojektion zerlegt werden kann, so folgt unmittelbar:

Bei der Bewegung auf fester Geraden oder Ebene kommt von einer Geschwindigkeit oder Beschleunigung nur deren Normalprojektion auf die mögliche Bewegungsrichtung zur Geltung.

Die Fallbewegung auf schiefer Bahn ist hiernach leicht zu beschreiben. Die Pendelbewegung wird in elementarer Weise auf die Projektion der gleichförmigen Kreisbewegung zurückgeführt.

---

*) Um die Lage des Schwingungspunktes zu bestimmen, dessen Bewegung dieselbe ist, wie die eines einfachen Pendels im gleichen Abstand vom Drehpunkt, stellte Huygens als Axiom auf, dafs bei der gemeinsamen Bewegung der Punkte des Pendels als Teile eines starren Körpers der Schwerpunkt ebenso hoch steige, als der Schwerpunkt der getrennten Teile steigen würde, wenn diese einzeln mit ihren in der tiefsten Lage erlangten Geschwindigkeiten als einfache Pendel aufsteigen würden. Ist h die Steighöhe des Punktes in der Entfernung 1, so wird die des Punktes in der Entfernung r, dessen Gewicht p sei, bei starrer Verbindung hr sein und die Steighöhe des Schwerpunktes wird bestimmt durch $\frac{\Sigma prh}{\Sigma p} = h \cdot \frac{\Sigma pr}{\Sigma p}$. Wenn ferner c die horizontale Geschwindigkeit des Punktes in der Entfernung 1, so ist die des andern Punktes cr, und seine Steighöhe würde, wenn er mit den andern nicht fest verbunden wäre, $\frac{c^2 r^2}{2g}$ sein. Daher wäre dann die Steighöhe des Schwerpunktes der getrennten Teile $\frac{\Sigma p \frac{c^2 r^2}{2g}}{\Sigma p} = \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{\Sigma pr^2}{\Sigma p}$. Nach obigem Axiom ist $h \Sigma pr = \frac{c^2}{2g} \Sigma pr^2$ oder $\frac{2gh}{c^2} = \frac{\Sigma pr^2}{\Sigma pr}$. Ein Punkt in der Entfernung l von der Axe wird wie ein freier Punkt schwingen, wenn er durch seine Geschwindigkeit $v = cl$ die Steighöhe hl erreicht, d. h. wenn $c^2 l^2 = 2ghl$, $l = \frac{2gh}{c^2}$ oder $l = \frac{\Sigma pr^2}{\Sigma pr}$.

§ 4. Die Zentralbeschleunigungen der Weltkörper.

Während man im Altertum die gleichförmige Bewegung auf dem Kreise als die einfachste und natürlichste ansah, da die Bewegung der Weltkörper für eine solche gehalten wurde, dagegen die geradlinige als eine gewaltsame, setzt Huygens (de vi centrifuga) die Bewegung in einem Bahnelement BE (Fig. 4) des Kreises zusammen aus einer gleichförmigen Bewegung BK in Richtung der Tangente und einer Bewegung BP gegen das Zentrum. Ohne hier auf seine etwas weitläufige Beweisführung einzugehen, können wir die Sehne BE für den Bogen setzen, woraus folgt, wenn c die Geschwindigkeit, r der Radius ist, $BE = ct$, $BP = \frac{BE^2}{BC} = \frac{c^2}{2r} \cdot t^2$, d. h. die Bewegung gegen das Zentrum ist eine gleichförmig beschleunigte mit der Zentralbeschleunigung $\gamma = \frac{c^2}{r}$. Bezeichnen wir die Umlaufszeit mit t, so ist $ct = 2\pi r$, woraus folgt: $t = 2\pi\sqrt{\frac{r}{\gamma}}$ und $\gamma = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$. Durch diese Formeln sind die Ergebnisse der Abhandlung von Huygens dargestellt. Aufserdem behandelte er das in geradem Kreiskegel schwingende Pendel, wobei er annahm, dafs die in horizontaler Richtung auftretende Zentrifugal-Beschleunigung entgegenwirke der Fallbeschleunigung auf der schiefen Bahn längs der Tangente des Bogens, in welchem das Pendel zu fallen strebt, so dafs $\gamma = g \operatorname{tg} a$, wenn g die Fallbeschleunigung und a der Ausschlagswinkel des Pendels ist; derselbe Wert ergiebt sich auch aus einer Zerlegung von g in horinzontaler Richtung und längs des Fadens.

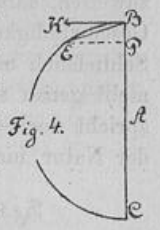


Fig. 4.

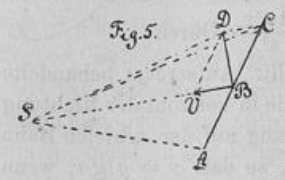
Die Anwendung dieser Betrachtungen auf die fast kreisförmige Bewegung der Planeten lag nahe, so dafs es nicht zu verwundern, wenn nach Newtons Zeugnis (Wolfers Übers. der Prinzip. S. 60), welcher auf die Abhandlung Huygens' insbesondere hinweist, dieses Problem von Wren, Hook und Halley zugleich in Angriff genommen wurde. Es war nämlich ein leichtes unter der Annahme der gleichförmigen Bewegung der Planeten auf Kreisbahnen mit den Radien r, r_1 und bei den Umlaufszeiten t, t_1 die Zentralbeschleunigungen γ, γ_1 zu berechnen. Nach dem dritten Keplerschen Gesetz ist: $t^2 : t_1^2 = r^3 : r_1^3$; daher $\gamma : \gamma_1 = \frac{r}{t^2} : \frac{r_1}{t_1^2} = \frac{r}{r_1} : \frac{r^3}{r_1^3} = r_1^2 : r^2$, d. h.:

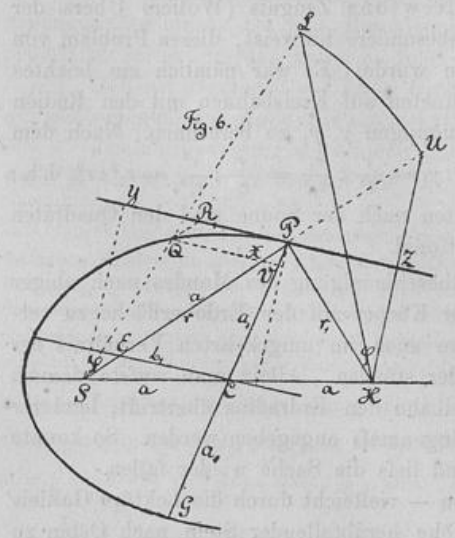
Die Zentralbeschleunigungen irgend zweier Planeten nach der Sonne sind den Quadraten ihrer Entfernungen von der Sonne umgekehrt proportional.

Newton kam nun auf den Gedanken, die Zentralbeschleunigung des Mondes nach obiger Formel zu bestimmen und mit der Fallbeschleunigung der Körper auf der Erdoberfläche zu vergleichen, bzgl. zu untersuchen, ob diese Beschleunigungen auch im umgekehrten Verhältnis der Quadrate der Entfernungen vom Erdmittelpunkt zu einander ständen. Allein man wufste damals zwar hinlänglich genau, wievielmal der Radius der Mondbahn den Erdradius übertrifft, letzterer selbst aber konnte nicht genau in dem gebräuchlichen Längenmafs angegeben werden. So konnte Newton zu keinem befriedigenden Ergebnisse gelangen und liefs die Sache wieder fallen.

Wir haben gelegentlich schon erwähnt, dafs Newton — vielleicht durch die Lektüre Galileis veranlafst — erkannte, es müsse ein von bedeutender Höhe herabfallender Stein nach Osten zu fallen, indem er die gröfsere Geschwindigkeit, welche er in der Höhe hatte, beim Fallen beibehalte. Newton schlug in einem an Hook, den Sekretär der königlichen Gesellschaft, gerichteten Brief, November 1679, vor, dieses Experiment auszuführen, durch welches die Axendrehung augenscheinlich gemacht würde. Galilei hatte in seinen Gesprächen über die Weltsysteme (II. Tag) für die

Bewegung eines von einem Turm fallenden Körpers eine kreisförmige Bahn angenommen, deren Durchmesser der Abstand der Anfangslage des Körpers vom Erdmittelpunkt sei; während die Turmspitze in gleichen Zeiten gleiche Bögen des vom Erdmittelpunkt aus beschriebenen Kreises durchläuft, sollen die Schnittpunkte jenes Halbkreises mit den Radien nach den Endpunkten der gleichen Bögen die jeweilige Lage des fallenden Körpers darstellen. Besonders gefällt es Galilei nachzuweisen, dafs die Bewegung auf jenem Halbkreise eine gleichförmige sei und genau mit derselben Geschwindigkeit vor sich gehe, welche der Körper in der scheinbaren Ruhelage gehabt habe. Schliefslich meint jedoch Salviati, dafs, wenn die von dem fallenden Körper beschriebene Bahn nicht genau so, wie angegeben, beschaffen sei, sie ihr doch äufserst nahe kommen müsse. Sagredo spricht noch seine Bewunderung des Umstandes aus, dafs hiernach die geradlinige Bewegung in der Natur nicht vorkomme. Später hat Galilei allerdings diese wunderliche Fiktion als solche gekennzeichnet (Wohlwill, S. 86). Hook, welcher selbst schon in einer Schrift (1674) für die Bewegung der Weltkörper das Beharrungsgesetz und eine Attraktion als mafsgebend angenommen hatte, behauptete nun in Erwiderung auf Newtons Brief, die fragliche Kurve sei eine Ellipse. Diese Bemerkung Hooks veranlafste Newton, wie er in einem an Halley gerichteten Brief erklärt, zu untersuchen, ob die elliptische Bewegung der Planeten nicht auch zusammenzusetzen sei, wie die eines geworfenen Körpers, jeweils aus einer gleichförmigen und einer beschleunigten Bewegung, welch letztere — statt wie beim Fall gegen den Erdmittelpunkt — gegen die Sonne gerichtet sei. Die Wurfbewegung erlangte hiermit eine hervorragende Bedeutung als Mittel der Analyse aller anderen Bewegungen. Es gelang Newton, den mathematischen Beweis zu liefern, dafs in der That die Bewegung in einem Bahnelement in dieser Weise zusammengesetzt werden kann, indem er nur die Bewegung auf einem Kegelschnitt gemäfs dem I. Keplerschen Gesetz von der gleichförmigen Beschreibung der Flächen durch den Fahrstrahl zwischen Sonne und Planet voraussetzte.





Zunächst bestimmt Newton die Richtung der beschleunigten Bewegung. Ist S (Fig. 5) der Brennpunkt und stellen $AB = v_0\tau$, $BD = v_1\tau$ Wege dar, welche in den gleichen Zeiten τ zurückgelegt werden, so ist nach dem I. Keplerschen Gesetz $\triangle SAB = SBD$. Die Bewegung in BD ist nun zusammengesetzt aus der in $BC = AB$ und einer zweiten Bewegung in $BV \# DC$. Da nun auch $\triangle SCB = SBA = SBD$ ist, so folgt $DC \parallel SB$, d. h. BV liegt in der Richtung nach dem Brennpunkt (vgl. Wolfers, S. 55 u. 57, § 13 u. 14). Wenn r der Fahrstrahl nach dem Punkte P (Fig. 6) und φ der Winkel zwischen dem Fahrstrahl und der Normalen zur Tangente, so wird der Satz von der Gleichheit der vom Fahrstrahl in gleichen Zeiten bestrichenen Flächen durch die Gleichung ausgedrückt:

$$v \cdot r \cos \varphi = v_1 r_1 \cos \varphi_1 = k, \text{ eine Konstante.}$$

Nehmen wir in dem Bahnelement PQ die Bewegung als zusammengesetzt an aus der gleichförmigen Bewegung in der Tangente $PR = v \cdot t = \frac{kt}{r \cos \varphi}$, und der gleichförmig beschleunigten Bewegung im Fahrstrahl $PX = \frac{1}{2} g t^2$, so folgt für die zu bestimmende Beschleunigung: $g = \frac{2k^2}{r^2} \cdot \frac{PX}{PR^2 \cos^2 \varphi}$ (Wolfers S. 62, § 21). Als Grenzwert von PR nimmt nun Newton die Ordinate QV des Durchmessers PCG (Wolfers, S. 69, § 29); es ist dann $QV^2 = \frac{b_1^2}{a_1^2} \cdot PV \cdot VG$, wobei a_1 und b_1 die konjugierten Durchmesser. Da der Grenzwert von $VG = 2a_1$, so folgt: $\frac{PV}{QV^2} = \frac{a_1}{2b_1^2}$.

Ziehen wir $CE \parallel PR$, so ist PE das arithmetische Mittel der Fahrstrahlen PS und PH, da $SC = CH$; somit $PE = a =$ der halben grofsen Axe der Ellipse. Daher ergiebt sich

$$\frac{PX}{PV} = \frac{a}{a_1} \quad \text{und} \quad \frac{PX}{PR^2} = \frac{PX}{QV^2}\left(\frac{QV}{PR}\right)^2 = \frac{a}{2b_1^2}, \text{ da } \lim \left(\frac{QV}{PR}\right)^2 = 1.$$

Der Winkel zwischen a_1 und b_1 sei α; alsdann ist $a_1 b_1 \sin \alpha = ab$ und $a_1 \sin \alpha = EP \cos \varphi = a \cos \varphi$, daher auch $b_1 \cos \varphi = b$. So ergiebt sich schliefslich: $g = \frac{ak^2}{b^2} \cdot \frac{1}{r^2}$, d. h.:

Ein Planet hat in jedem Punkt seiner Bahn eine zur Sonne gerichtete Zentralbeschleunigung, welche dem Quadrat der Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional ist.

Die analytische Mechanik leitet jetzt mit Leichtigkeit dieses Gesetz ab (Kirchhoff, Mech. Vorl. I. § 6). Aber auch auf synthetischem, geometrischem Wege besitzen wir eine elegantere Darstellung der fraglichen Beziehungen, als obige, abgekürzt gegebene, Ableitung Newtons. Nach Hamilton (vgl. Maxwell, Substanz u. Bewegung, S. 123 ff.) wird nämlich die Geschwindigkeit im Punkte P dargestellt durch die doppelte Normale vom zweiten Brennpunkt auf die Tangente; es ist $v \cdot r \cos \varphi = k$ oder $v \cdot SY = k$; da nun $SY \cdot HZ = b^2$ $\left(\text{im } \triangle SPH \text{ ist } \cos \varphi = \frac{b}{\sqrt{rr_1}}, b^2 = r \cos \varphi \cdot r_1 \cos \varphi = SY \cdot HZ\right)$, so folgt: $HU = \frac{2b^2}{k} \cdot v$, wobei bekanntlich die Punkte S, P, U auf einer Geraden liegen und $SU = 2a$ ist. Die Geschwindigkeit in Q wird ebenso durch die Strecke HL dargestellt und da HU und HL nicht blofs beiden Geschwindigkeiten proportional sind, sondern auch als Normale auf die Tangenten denselben Winkel einschliefsen, wie jene, so stellt die Schlufslinie UL des Dreiecks HUL die zweite Komponente der Geschwindigkeit mit dem Faktor $\frac{2b^2}{k}$ dar, welche zu der in P hinzukommen mufs, um die in Q zu ergeben. Da UL in der Grenze normal zum Fahrstrahl von S anzunehmen ist, so ist hiermit erwiesen, dafs diese Komponente in der Richtung des Fahrstrahls selbst hinzutritt. Nimmt die Bewegung von P bis Q die Zeit τ in Anspruch, so ist die Geschwindigkeit, welche nach dieser Zeit die beschleunigte Bewegung in dieser Richtung ergiebt, $= g\tau$, also $UL = \frac{2b^2}{k} \cdot g\tau$. Aus dem ersten Keplerschen Gesetz folgt noch für die vom Fahrstrahl beschriebene Fläche SPQ der Grenzwert: $\frac{r^2}{2} \cdot \text{arc } PSQ = \frac{k}{2} \cdot \tau$, während $LU = 2a \text{ arc } PSQ = \frac{2ak\tau}{r^2}$; somit $\frac{2b^2}{k} g = \frac{2ak}{r^2}$; schliefslich $g = \frac{ak^2}{b^2} \cdot \frac{1}{r^2}$. (Eine weitere elementare Ableitung siehe in Henrici-Treutlein, Lehrb. d. Geom. III., S. 129.)

Newton besafs, wie einst Kopernikus, die grofse Selbstbeherrschung, eine fertige Arbeit Jahre lang im Pulte liegen zu lassen. Wohl mufste er auch seine Gedanken über die Gleich-

artigkeit der Ursachen aller Bewegungen der Weltkörper so lange noch nicht für vollständig ausgereift erachten, als ihm die Aufgabe nicht gelungen war, den Zusammenhang der Beschleunigung des Mondes gegen die Erde mit der Fallbeschleunigung nachzuweisen. Im Juni 1682 erfuhr er in einer Sitzung der königlichen Gesellschaft genauere Angaben über die Gröfse der Erde, wie sie aus den Gradmessungen von Picard 1679 sich ergeben hatten. Indem er nun die früher abgebrochene Rechnung über die Bewegung des Mondes wieder aufnahm, bemerkte er schon vor Vollendung derselben, dafs das Resultat dem seiner Theorie entsprechen werde; da bemächtigte sich seiner eine solche Nervenaufregung, dafs er die Rechnung von einem Freunde zu Ende führen lassen mufste. In der That, wenn wir in der Formel $g = \frac{2\pi \cdot 2\pi r}{t^2}$ für den Erdumfang 40 Millionen Meter, für den Umfang der Mondbahn $2\pi r$ das 60fache setzen, da die Entfernung des Mondes ungefähr gleich 60 Erdradien, und für die Umlaufszeit des Mondes: $t = 27{,}3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ Sekunden, so ergiebt sich für g der 60^{2te} Teil der Fallbeschleunigung (vgl. Wolfers S. 385).

Bei der Annahme, dafs die Fallbeschleunigung der Körper mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnimmt, entspricht die Zentralbeschleunigung des Mondes gegen die Erde der Fallbeschleunigung in der betreffenden Entfernung vom Erdmittelpunkt.

So wurde der Zusammenhang der Bewegungen der Weltkörper mit dem der fallenden Körper auf der Erdoberfläche ermittelt, indem zuerst ein Gesetz für die Beschleunigungen je zweier Weltkörper, dann dasselbe Gesetz für die wechselnden Beschleunigungen jedes einzelnen Weltkörpers und schliefslich auch für die Beschleunigung des Mondes und eines auf der Erdoberfläche fallenden Körpers erkannt wurde. Mittlerweile hatten auch, wie oben bemerkt, Wren, ein berühmter Architekt Londons, ebenso Hook und der Astronom Halley aus dem dritten Keplerschen Gesetze und unter der Annahme einer gleichförmigen Bewegung der Planeten auf Kreisen das zuerst genannte Gesetz für die Zentralbeschleunigungen zweier Planeten unabhängig von einander gefunden. Wren bemühte sich zwar auch die elliptische Bewegung der Planeten aus der Zusammensetzung zweier Bewegungen wie beim Wurfe herzuleiten, konnte aber mit der Durchführung dieser Idee nicht zustandekommen. Hook hatte schon in einer Schrift 1674 die gegenseitige Attraktion aller Weltkörper und deren Einflufs auf die Bewegungen derselben ausgesprochen; zur mathematischen Durchführung der Sache war er aber ebenfalls nicht der Mann. Auf Bitten Halleys legte dann Newton sein Werk „Philosophiae naturalis principia mathematica“ im April 1686 der königlichen Gesellschaft vor. — Die hierbei entstandenen Prioritäts-Streitigkeiten zwischen Hook und Newton veranlassen Poggendorf (Gesch. der Phys. S. 702) zu dem Seufzer: „Unter solchen Mifshelligkeiten trat das Werk ans Licht, welches dazu bestimmt sein sollte, den Menschen die Harmonie des Himmels zu verkünden.“

Diese Harmonie geht nun nicht so weit, dafs für gleiche Entfernungen von der Erde und von der Sonne die Beschleunigungen gegen beide Weltkörper dieselben wären. Wir verzichten hier noch auf Newtons Erklärung dieser Ungleichheiten mittels des dynamischen Begriffs der Masse und führen statt dessen folgende kinematische und rein empirische Gröfse ein. Wir bezeichnen mit Intensität der Beschleunigung diejenige Beschleunigung, welche gegen einen Weltkörper in einer bestimmten Entfernung $= 1$ (der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne) zur Geltung kommt; ist nun f die Intensität der Beschleunigung (der Erde) gegen die Sonne, e die (des Mondes) gegen die Erde, ist ferner r die Entfernung der Erde von der Sonne, ϱ die des Mondes von der

Erde, so sind die Beschleunigungen der Erde und des Mondes $\frac{f}{r^2}$ und $\frac{e}{\varrho^2}$. Unter der Annahme gleichförmiger Bewegung auf dem Kreise ist aber $\frac{f}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, $f = \frac{4\pi^2 r^3}{t^2}$, ebenso $e = \frac{4\pi^2 \varrho^3}{t_1^2}$, somit: $\frac{f}{e} = \left(\frac{r}{\varrho}\right)^3 \left(\frac{t_1}{t}\right)^2$. Mit Zugrundelegung der annähernd geltenden Zahlen $r = 389\,\varrho$, $t = 365{,}25$, $t_1 = 27{,}32$ folgt ungefähr: $e = \frac{1}{329000} f$. Newtons Wert weicht hiervon wesentlich ab infolge der ungenauen Sonnenparallaxe, welche er anwendet (vgl. Wolfers, S. 394. Zus. 2). In gleicher Weise lassen sich für die andern von Monden begleiteten Weltkörper die Verhältnisse ihrer Intensitäten gegen die der Sonne berechnen; sie sind ebenfalls nur kleine Bruchteile der letzteren. Aus den bekannten Gröfsen der Durchmesser der Weltkörper war es nun Newton ein leichtes, die Fallbeschleunigungen an deren Oberflächen zu berechnen. Newton erklärt die Verschiedenheit der Intensitäten durch die Annahme einer den Massen proportionalen Anziehung; er rechnet deshalb überhaupt nicht mit diesen Intensitäten, sondern mit den Massen der Weltkörper. Hierauf können wir in diesem kinematischen Teil unserer Betrachtungen noch nicht eingehen.

§ 5. Gegenseitige Beschleunigungen zwischen allen Körpern.

In der That ist Newtons Gesetz auch in kinematischer Beziehung weit umfassender als wir es bis jetzt ausführten. Nicht blofs gegen die Zentra oder Schwerpunkte der Weltkörper sind die Beschleunigungen gerichtet, sondern diese Zentralbeschleunigungen sind nur die Resultierenden aus den Beschleunigungen nach den einzelnen Teilen des betr. Weltkörpers (Wolfers, S. 392). Nicht allein erhält der kleinere Weltkörper eine Beschleunigung gegen den gröfseren, sondern auch umgekehrt dieser gegen jenen (Wolfers, S. 396).

Jeder Körper oder Teil eines solchen ist das Zentrum von Beschleunigungen, welche jeden andern Körper oder Körperteil gegen ihn hinführen; die Intensität dieser Beschleunigungen ist für alle letzteren gegen den einen ersteren ein und dieselbe, dem ersteren eigentümliche. Die Beschleunigungen nehmen mit dem Quadrat der Entfernungen von ersterem ab.

Wenn die Beschleunigungen nach den einzelnen Teilen einer Kugel gerichtet sind und wenn hierbei für gleiche Teile einer konzentrischen Schicht die Intensitäten übereinstimmen, so geht, wie Newton nachweist (Wolfers, S. 191), die Resultierende dieser Beschleunigungen durch das Zentrum und ist dem Quadrat der Entfernung vom Zentrum umgekehrt proportional. Daher kann in den Berechnungen der Beschleunigungen an die Stelle der einzelnen Teile der Mittelpunkt gesetzt werden (Wolfers, S. 393). Dies ist die Ursache, warum aus der Gröfse und Richtung der Beschleunigungen der Weltkörper noch nicht die mechanische Bedeutung der einzelnen Teile erkannt werden konnte. Wohl aber mufste obiges Gesetz sich darin bewähren, dafs nicht blofs der Planet oder Mond gegen den Zentralkörper, sondern auch umgekehrt der letztere gegen den ersteren eine Bewegung ausführt. Nehmen wir die Intensität zur Sonne $= f$, die zur Erde $= if$, wobei i ungefähr $= \frac{1}{329000}$ ist, so wird die Sonne gegen die Erde mit der Beschleunigung $\frac{if}{r^2}$, die Erde gegen die Sonne mit der Beschleunigung $\frac{f}{r^2}$ bewegt. Der Punkt, welcher den Abstand zwischen Erde und Sonne im umgekehrten Verhältnis ihrer Intensitäten teilt, $f : fi = 1 : i = 329000 : 1$, wird bei der gegenseitigen Beschleunigung der beiden Körper seine

Lage nicht ändern; in irgend einer Zeit wird nämlich durch diese Beschleunigungen der Abstand beider Weltkörper von beiden Seiten her um Strecken verkürzt, die sich wie $fi : f$ verhalten, so dafs für den Rest des Abstandes dem gleichen Teilverhältnis auch der ursprüngliche Teilpunkt entspricht. Die kinematische Bedeutung dieses sogenannten Schwerpunktes ist sonach zunächst die, dafs die Körper durch ihre Beschleunigungen allein in diesem Punkte zusammentreffen würden; ferner schliefst Newton aus der unveränderlichen Lage desselben (Wolfers, S. 396), dafs die Bewegungen der beiden Körper um diesen Punkt untereinander ähnlich sind und zugleich ähnlich der relativen Bewegung jedes Körpers in bezug auf den andern (Wolfers, S. 167, § 98). Letztere Bewegung ist diejenige, welche der eine Körper um den andern als fest angenommenen Körper macht (§ 99). Da die oben berechneten Beschleunigungen eine Annäherung der beiden Weltkörper bewirken, so ist die relative Beschleunigung eines jeden der beiden in bezug auf den andern, der als ruhend gedacht wird, $\frac{f}{r^2} + \frac{fi}{r^2} = \frac{f(1+i)}{r^2}$. Mit dieser relativen Beschleunigung führt der Planet seine Bewegung um den Mittelpunkt der Sonne aus. Ist t seine Umlaufszeit, r seine mittlere Entfernung von der Sonne, so ist:

$$\frac{f(1+i)}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{t^2}, \quad f = \frac{4\pi^2 r^3}{(1+i)\,t^2}; \quad \sqrt{f} = \frac{2\pi}{t}\sqrt{\frac{r^3}{1+i}} = k$$

d. i. eine nach Gauss benannte für das ganze Planetensystem geltende Konstante. Hiernach ist das dritte Keplersche Gesetz etwas abzuändern, indem für zwei Planeten $\frac{r^3}{t^2(1+i)} = \frac{r_1^3}{t_1^2(1+i_1)}$. Nur weil die Intensitätsfaktoren i und i_1 kleine Bruchteile sind, konnte Kepler finden, dafs:

$$r^3 : r_1^3 = t^2 : t_1^2.$$

Die Störungen, welche ein Planet in der Bewegung eines andern verursacht (Wolfers, S. 398), wenn gegen ersteren die Intensität der Beschleunigung $i_1 f$ ist, wird bei dem Abstand d beider Planeten durch die Beschleunigung $\frac{i_1 f}{d^2}$ gegen ersteren Planeten in Rechnung gebracht, wie dies in den Gleichungen von Lagrange geschieht. Wenn auch Lagrange sich bei der Einführung der Masse als Faktor der Beschleunigung auf die Erfahrung beruft (Dühring, Gesch. der Mech., 1. Aufl., S. 349), so bedürfen doch die Gleichungen für die Wirkungen der Gravitation aller Weltkörper auf einen nicht dieses Massenbegriffs. Die Beschleunigung des letzteren Weltkörpers in Richtung der x-Axe ist z. B., indem wir für die Massen die Intensitäten in Rechnung setzen, durch die Gleichung bestimmt (Wolf, Handbuch der Math. Phys. u. Astr. II, S. 232):

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f\frac{(1+i)}{r^3}\cdot x = \Sigma f i_n \frac{dR}{dx},$$

wobei die rechte Seite die Wirkungen der übrigen Planeten darstellt und R nur von den Koordinaten der Weltkörper abhängt.

Aus der Gröfse der Störung kann dann umgekehrt auch die von dem störenden Planet ausgehende Intensität berechnet werden. Auf diese Weise fand man die Intensitäten der Beschleunigungen zu solchen Planeten, welche nicht von Monden umkreist werden. Die zur Berechnung der Störungen der Mondbahnen vorauszusetzenden Gröfsen sind ebenfalls nur die Intensitäten der Beschleunigungen zwischen Mond, Sonne und Planet. Überall, wo in der Astronomie mit Massenverhältnissen gerechnet wird, sind es in der That nur die Verhältnisse

zwischen den Intensitäten der Beschleunigungen. Wir werden hierauf bei der Bestimmung der Kräfte und Massen zurückkommen.

Zwei Erscheinungen wufste noch Newton anzugeben, welche darauf hinweisen, dafs die Beschleunigungen nicht blofs dem Weltkörper als Ganzem, sondern dessen Teilen zukommen, nämlich die Flutbewegung und die Präzession des Frühlingspunktes. Newton erläutert und berechnet diese Erscheinungen, indem er von den Störungen der Mondbewegung durch die Sonne ausgeht. Wie die Sonne Beschleunigungen des Mondes gegen sich hervorruft, so stört der Mond selbst die Bewegungen des Meerwassers, das Newton als eine Masse von Monden auffafst. Wir heben hier von Newton etwas abweichend nur das Kinematische hervor.

Die dem Zentrum der Erde mitgeteilte Beschleunigung $\gamma = \frac{i_1 f}{\varrho^2}$ gegen den Mond kommt zunächst der Erde als Ganzem zu. Ist nun γ_1 die Beschleunigung, welche der Wassermasse an irgend einer Stelle der Erde gegen den Mond erteilt wird, so ist γ_1 durch ein Parallelogramm in die Beschleunigungen γ und χ zu zerlegen, wovon die erstere γ keine relative Bewegung an der Erdoberfläche erzeugt, während die letztere χ bewirkt, dafs die Wassermassen sich an zwei gegenüberliegenden Stellen der durch den Mond gehenden Meridianebene anhäufen. Für die dem Monde zunächst liegende Stelle ist $\gamma_1 = \frac{i_1 f}{(\varrho - a)^2}$, wenn a der Erdradius ist, somit $\chi = \frac{i_1 f}{(\varrho - a)^2} - \frac{i_1 f}{\varrho^2} = \frac{i_1 f a (2\varrho - a)}{\varrho^2 (\varrho - a)^2}$. Da $a = \frac{1}{60}\varrho$, so kann man hierfür annähernd $\frac{2 i_1 f a}{\varrho^3}$ setzen. In ähnlicher Weise findet man für die durch die Sonne veranlafste Flut $\frac{2 f a}{r^3}$, wenn r der Abstand der Erde von der Sonne. Das Verhältnis beider Beschleunigungen ist daher $\frac{2 f a}{r^3} : \frac{2 i_1 f a}{\varrho^3} = \frac{1}{i_1}\left(\frac{\varrho}{r}\right)^3$. Aus Beobachtungen der Fluthöhen wird geschlossen, dafs dies Verhältnis $= 0{,}43$ (Gylden, Astron., S. 191; vgl. Wolfers, S. 449 ff. und 546 ff.); also $1 : i_1 = 0{,}43 \left(\frac{r}{\varrho}\right)^3$. Oben fanden wir für die Intensität der Beschleunigung gegen die Erde $i = \left(\frac{\varrho}{r}\right)^3 \left(\frac{t}{t_1}\right)^2$; somit ist $i : i_1 = 0{,}43 \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 = 77$ ungefähr, d. h. die Intensität gegen den Mond ist ungefähr $\frac{1}{77}$ von der gegen die Erde. Aus den Störungen der Erdbewegung durch den Mond und aus der Nutation der Erdaxe, welche durch den Mond verursacht wird, ergaben sich Werte, die $\frac{1}{80}$ ungefähr betragen (Gylden, Astron., S. 202; Wolfers, S. 545 ff.). So einfach wie oben angegeben ist allerdings die Wirkung auf das Meerwasser nicht; es ist schon Newton wohl bekannt gewesen, dafs z. B. auch die Konfiguration von Land und Wasser Ursache verwickelter Interferenz-Erscheinungen ist (Wolfers, S. 414, 451, 541 ff.).

Die zweite von beiden oben erwähnten Erscheinungen rührt, wie Newton nachwies, von der sphärischen Gestalt der Erde her. Huygens und Newton kamen unabhängig voneinander zu der Ansicht, dafs die Fallbeschleunigung infolge der Rotation der Erde am Äquator geringer erscheinen müsse, als am Pol (Wolfers, S. 401). Um einen Körper in der geographischen Breite φ auf der Kreisbahn zu erhalten, bedarf er einer Zentralbeschleunigung $\gamma = \frac{4\pi^2 a \cos\varphi}{t^2}$, wenn t die Umdrehungszeit der Erde ist. Diese Beschleunigung entnimmt der Körper als eine Komponente der gegen den Erdmittelpunkt gerichteten Beschleunigung der Schwere g, von welcher dann als allein beobachtbare Fallbeschleunigung die zweite Komponente g_1 übrig bleibt, da die erstere

Komponente keine relative Bewegung in bezug auf die Erdoberfläche verursacht. Die Richtung dieser Fallbeschleunigung geht nicht durch das Zentrum der Erde, sondern schneidet den Erdradius des entgegengesetzten Poles. Die Horizontalebene des Ortes, welche normal zu dieser Richtung ist, ist somit nicht Tangentialebene einer Kugel, sondern eine Ebene, welche die verlängerte Erdaxe näher am Pole trifft. Die Oberfläche der Erde ist an den Polen abgeplattet. Am Äquator ist $\gamma = \frac{2\pi \cdot 40000000}{(24 \cdot 60 \cdot 60)^2} = 0{,}0337$ m, (wobei wir den Unterschied zwischen mittlerem Sonnentag und Sterntag unberücksichtigt lassen). Die geringere Fallbeschleunigung am Äquator ergab sich aus Beobachtungen Richers 1672 in Cayenne an einer aus Paris mitgenommenen Pendeluhr. Die beobachtbare Fallbeschleunigung am Äquator ist 9,78, somit die wahre $9{,}78 + 0{,}0337 = 9{,}81$. Das Verhältnis der Zentralbeschleunigung zur wahren Beschleunigung der Schwere ist hiernach 1 : 289, wie Huygens und Newton übereinstimmend fanden, während ihre Bestimmungen des Grades der Abplattung von einander und von der Wirklichkeit bedeutend abweichen (Wolfers, S. 401. Huygens, de causa gravitatis, Op. rel. I., S. 119). Zur Bestimmung der Gestalt der Erde wurden seither zahlreiche Pendelmessungen ausgeführt, wobei sowohl die Zentrifugalbeschleunigung, als die Abnahme der Beschleunigung mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkt in Rechnung gebracht wurden; diese Messungen ergaben jedoch mancherlei Abnormitäten, welche man durch die ungleiche Verteilung der Erdmasse im Innern derselben zu erklären versuchte (Günther, Geophysik I, S. 195 ff.); hiernach erscheint eine Bestätigung des Newtonschen Gesetzes durch diese Messungen immerhin als fraglich.

Der Wulst, welcher die Kugel um die Erdaxe als Durchmesser umgiebt, verursacht relative Beschleunigungen der einzelnen Teile durch die Verschiedenheit ihrer Entfernungen von der Sonne (Wolfers, S. 455). Die Ebene, welche normal zu dem Fahrstrahl nach der Sonne durch den Erdmittelpunkt geht, teilt den Wulst in zwei Hälften, von welchen die eine ihren Schwerpunkt südlich, die andere nördlich von der Ekliptik hat, und zwar wächst die Entfernung der Schwerpunkte während des Laufes der Erde von den Äquinoktien, da sie Null ist, bis zu den Solstitien. Nehmen wir von den Beschleunigungen, welche diesen Teilen gegen die Sonne zukommen, die Beschleunigung der Translation der Erde weg, so bleiben solche übrig, welche durch eine Drehung die Schwerpunkte beider Hälften in die Ekliptik zu verlegen streben. Die Axe für diese Drehung ist der Durchschnitt jener Normalebene mit der Äquatorebene, da hauptsächlich nur der Äquatorwulst wirkt. Wir haben hier das erste Beispiel der Zusammensetzung der gleichzeitigen (unendlich kleinen) Drehungen um zwei Axen, deren Gesetz dem vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten auch in der Form entspricht, worauf wir jedoch hier nicht eingehen wollen. In der Ebene der Rotationsaxe der Erde und jener zweiten Drehaxe findet sich ein Durchmesser, dessen Punkte durch die eine Drehung dieselbe Geschwindigkeit in der einen Richtung erhalten würden, wie durch die Drehung um die zweite Axe nach der entgegengesetzten Richtung; daher ist dieser Durchmesser in Ruhe und es resultiert aus beiden relativen Drehungen eine Drehung um ihn als Axe. Es ist leicht ersichtlich, dafs diese neue Axe der Erdaxe um so näher liegen mufs, je mehr die Rotationsgeschwindigkeit um letztere die um die zweite Axe übertrifft. Indem aber diese zweite Axe ihre Lage in bezug auf die Erde stets ändert, kommt jeweils um sie nur der Beginn einer Rotationsbewegung (Rotationsbeschleunigung) zustande mit unmefsbar kleiner Anfangsgeschwindigkeit, so dafs die neue Drehaxe auch unmefsbar nahe der Erdaxe liegt; wir können

dies so deuten, dafs die Erdaxe selbst in jedem Augenblick das Bestreben hat, eine minimale Drehung in der Meridianebene der zweiten Drehaxe auszuführen, wobei diese Meridianebene selbst zugleich mit letzterer Drehaxe ihre Lage verändert. Bei der Berechnung dieser Bewegung tritt nun aber zum ersten Mal eine neue Art von Gröfsen auf, indem bei der Vereinigung von Teilen zu einem starren Körper (wie hier des kugelförmigen Erdkernes und des Äquatorwulstes) jeder Teil noch mit einem Faktor in Rechnung kommt, welcher ganz anderer Art ist, als die Beschleunigung, nämlich mit dem Gewichte, das uns in der Folge als weitere Wirkung der Schwere zu beschäftigen hat.

II. Dynamik der Schwere.

§ 6. Das Beharrungsgesetz, eine Folgerung aus der Bewegung ohne Fallbeschleunigung.

Wir finden unter Galileis Begründungen für die Umdrehung der Erde eine Menge von Beispiele für das Beharren einer gleichförmigen Bewegung in horizontaler Richtung; ebenso erkannte er, dafs in der Wurfbewegung die gleichförmige horizontale Bewegung beharre, während damals noch die Meinung herrschte, die Luft trage zur Fortbewegung eines geworfenen Körpers bei. Galilei weist natürlich mit Leichtigkeit nach, dafs gegenteils die Luft die Bewegung hemme und gerade diejenigen Körper, welche der Luft am meisten Oberfläche zum Angriff bieten, am wenigsten weit getragen werden. Er macht auch hier von der Methode des Schliefsens aus den gleichlaufenden Veränderungen Gebrauch. Salviati führt aus, dafs auf einer glatten geneigten Bahn eine glatte Kugel bei Hinwegnahme jedes Hindernisses sich beschleunigt abwärts bewege, dafs sie durch einen Stofs sich verzögert aufwärts bewege; je geringer die Neigung der Bahn gegen die Horizontale, desto geringer sei auch die Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit; bei einer vollständig horizontalen Ebene müsse also, da die Ursachen der Beschleunigung oder Verzögerung wegfallen, die Bewegung eine unaufhörliche, gleichförmige sein. Im Grunde beruhen alle Beweise für den Satz vom Beharren in der Bewegung auf dieser Methode (Mill, Logik, Übers. von Schiel, S. 123). Ein plötzliches Aufhören der Bewegung wird ebensowenig als ein plötzlicher Beginn derselben ohne besondere Kraft gedacht; dafs aber auch ein allmähliches Aufhören, d. i. eine Verzögerung der Bewegung ebenso wie eine Beschleunigung einer dauernden Kraft bedürfe, das zu erkennen scheint auch einem Galilei recht schwer geworden zu sein. Denn er beansprucht dieses Prinzip mit der den wahren Naturforscher charakterisierenden Ökonomie in Hypothesen nur ausnahmsweise für eine Bewegung in anderer als horizontaler Richtung, für welche allein ihm das Gesetz hinlänglich begründet erschienen sein mufs; die volle Tragweite desselben ist ihm noch nicht zum Bewufstsein gekommen. Immerhin enthalten seine Schriften soviel von diesem Prinzip, dafs seine Leser es sofort allgemeiner anerkennen konnten und es erst eingehenderes Studium erforderte um zu erkennen, dafs Galilei es doch nur in beschränkterer Form gebrauchte, wie durch Wohlwill (Gesch. der Entdeckung des Beharrungsgesestzes) nachgewiesen wurde. Andere Historiker stellen die Gewinnung des Grundsatzes von der Erhaltung der Bewegung so dar, als ob man zuerst erkannt hätte, jede dauernde Kraft rufe eine Beschleunigung hervor, und daraus geschlossen habe, dafs die gleichförmige Bewegung keiner dauernden Kraft bedürfe. Allein man kannte damals als Kräfte nur die Druckkräfte der Schwere und zwar nur als statische Gröfsen, welche man später

erst versuchte, in die Bewegungslehre einzuführen (s. u.). Wie irrig die genannte Annahme, ersehen wir aus Huygens' Schrift über den Stofs der Körper; obgleich diese Schrift nicht einmal den Begriff der Stofskraft benützt, stellt Huygens das Beharrungsgesetz in folgender Form an die Spitze seiner Abhandlung: „Jeder einmal bewegte Körper fährt fort, wenn nichts entgegenwirkt (si nihil obstet), sich stets mit gleicher Geschwindigkeit in gerader Linie zu bewegen.“ Zu obiger Vermutung über die Entdeckung des Beharrungsgesetzes wird man immerhin dadurch geleitet, dafs dieses Prinzip und der Kraftbegriff einander erfordern und die Formulierung des einen die des andern schon in sich schliefst.

Für alles, was die Bewegung eines ruhenden Körpers oder eine Änderung der geradlinigen gleichförmigen Bewegung eines Körpers hervorruft oder hervorzurufen strebt, substituieren wir eine am Körper wirkende Kraft,

mag die Ursache dieser Veränderung in einer Abänderung der Anordnung oder Wirkung der übrigen Körper liegen oder im bewegten Körper selber.

Dieser Satz ist dann immer noch zu ergänzen durch die Angabe, dafs die Dauer der Kraft und die Dauer der Änderung zusammenfallen:

Die Dauer der Kraft ist beendet, sobald der Körper sich geradlinig und gleichförmig in der erlangten Richtung und mit der erlangten Geschwindigkeit weiter bewegt, und umgekehrt: die Bewegung wird geradlinig und gleichförmig sein, sobald die Einwirkung der Kraft beendet ist.

Es wurden schon wiederholt Versuche gemacht, das Beharrungsgesetz logisch zu begründen oder gegenteils anzugreifen, beides, wie wir glauben, ohne Erfolg. Taine (der Verstand, Bd. II, S. 288) meint einen Beweis zu erbringen, indem er davon ausgeht, dafs zu Anfang der Bewegung in einer beliebig kurzen Zeit der Körper einen beliebig kleinen Weg gleichförmig zurücklege; man zerlege diese Bewegung in zwei Hälften; da in der zweiten Hälfte die Richtung und die Geschwindigkeit dieselbe ist wie in der ersten, so wird sich auch in dem nächstfolgenden gleich grofsen Zeit- und Wegteil an der Bewegung nichts ändern, indem sich dasselbe ohne unterscheidende Merkmale genau so an diese zweite Hälfte anschliefst, wie diese selbst an die erste Hälfte, u. s. f. Die petitio principii liegt hier darin, dafs für ein erstes unendlich kleines Zeitteilchen eine Bewegung ohne zeitlich begleitende Ursache angenommen wird, was für ein solches Zeitteilchen ebensowenig selbstverständlich ist, wie für eine länger fortdauernde Bewegung. Man könnte dieselbe Schlufsfolgerung auch auf die gleichförmig beschleunigte Bewegung anwenden. „Mit scholastischen Sätzen ist auf diesem Gebiete nichts zu verrichten,“ sagt Mach in seinem geistreichen Werk „die Mechanik in ihrer Entwickelung“ (S. 131), indem er darauf hinweist, wie die Sätze „die Wirkung einer Ursache verharrt“ und „cessante causa cessat effectus“ ihre Bedeutung ändern, je nachdem man unter Wirkung oder effectus die Geschwindigkeit oder Beschleunigung versteht; die Mechanik läfst den ersteren Satz für die Geschwindigkeit, den letzteren für die Beschleunigung gelten. Wundt, welcher den geistigen Ursprung des Axioms treffend durch den Ausspruch charakterisiert: „Axiome a priori zu finden ist nur ein Experimentieren mit den eigenen Vorstellungen“ (die physikal. Axiome, S. 120), weist andrerseits auf den empirischen Ursprung des Axioms hin: „das Kausalprinzip kann eine brauchbare Gestalt erst durch die nähere Definition dessen gewinnen, was man unter Ursache und Wirkung zu verstehen habe, eine Definition, die selbstverständlich nicht a priori, sondern nur auf Grund empirischer Eigenschaften der Erscheinungen gegeben werden kann“ (Vierteljahrschrift f. wiss. Philos. 1884. S. 406).

Die Einwände gegen das Beharrungsgesetz richten sich teils gegen die Einführung des Kraftbegriffs überhaupt, — diese wollen wir zum Schlusse unserer Abhandlung aufsparen, — teils gegen den kinematischen Teil des Gesetzes, das Beharren in der Bewegung. Während wir eben den rein rationellen Ursprung des Gesetzes zurückweisen mufsten, meinen andrerseits neuere Kritiker (Zeitschr. f. Math. v. Cantor u. Schlömilch, Jahrg. 29. Heft 5), dieses Gesetz „könne durch Erfahrung nicht als notwendig erkannt werden", da uns nur relative Bewegungen zur Erscheinung kommen, in der rationellen Mechanik aber der Satz sich auf absolute Bewegungen beziehe; in gleichem Sinne spricht sich C. Neumann aus (Prinzip. der Galil. Newt. Theorie, S. 20). Auch Mach (Mech. S. 217) glaubt, das Gesetz erfordere „eine kurze Anweisung auf Beobachtung der ganzen Welt." Der Satz läfst aber in der That ganz unentschieden, ob die Bewegung eine relative oder absolute ist, und das gleiche gilt für die ganze rationelle Mechanik; denn wie sie auch die Bewegungen auffassen mag, immer geschieht es nach irgend einem Koordinatensystem, von dessen Bewegung wir abstrahieren können, aber nicht müssen. Wie das Gesetz aus den allein beobachtbaren relativen Bewegungen abgeleitet werden konnte, ergiebt sich folgendermassen. Unterliegt ein Körper irgend welchen relativen Bewegungen, die auf irgend welche Weise hervorgerufen werden und die wir sogar nur zum Teil beobachten können, erkennen wir ferner unter den Ursachen dieser Bewegungen eine Kraft, von der wir wissen, dafs sie blofs auf den betreffenden Körper wirkt, — ja die wir selbst ausüben können, — und die nun zu wirken aufhört, so beobachten wir an Stelle der durch diese Kraft bewirkten relativen Bewegung bei Beseitigung aller Hindernisse eine relative geradlinige gleichförmige Bewegung, wobei alle übrigen Bewegungen ungestört fortdauern; wir beziehen hierbei die Bewegung des Körpers nur auf ein kleines Gebiet anderer mit ihm bewegter Körper, für welche nur jene eine Kraft nicht in Betracht kommt, und bedürfen so nicht der „unendlich vielen Koordinatensysteme", welche auch Thomson für das Erkennen einer absoluten geradlinigen Bewegung fordert. — Eine zweite Schwierigkeit findet C. Neumann darin, dafs wir kein absolut genaues Zeitmafs haben und somit nicht zu erkennen im stande sind, ob in einer Bewegung gleiche Zeiten und gleiche Wege einander entsprechen. Wir messen die Zeit mit Hilfe von Bewegungen; allein wir können die Bewegung eines Körpers nicht durch die eines einzigen andern kontrolieren. Durch eine Menge gleichartig sich wiederholender Bewegungen, namentlich solcher, welche aus gleichartig wiederkehrenden Ursachen entspringen (Pendelschwingungen), erlangen wir ein Mafs der Zeit. So bringen uns zahlreiche Erscheinungen, u. a. der übereinstimmende Gang vieler Uhren, die Überzeugung von der Unveränderlichkeit der Rotationszeit der Erde; auf diese Gleichheit der Sterntage schliefsen wir vor allem aus der Unveränderlichkeit der Anzahl solcher Tage für die Dauer der Wiederholungen zahlreicher kosmischer Bewegungen. Wenn die Sterntage wirklich ungleich wären, so könnte dies auch nur im Vergleich mit mehreren anderen Bewegungen thatsächlich nachgewiesen werden. Thomson müfste daher auch konsequenter Weise die gleichförmige Bewegung nicht blofs auf eine Zeitskala beziehen, sondern auf unendlich viele solche, d. i. auf unendlich viele Bewegungen.

Sowohl in bezug auf Raum als auf Zeit ist das Beharrungsgesetz eine Abstraktion aus unzählig vielen Erfahrungen, wenn auch durch keine einzelne genau bestätigt. Dafs den mathematischen Annahmen und Abstraktionen in Wirklichkeit genau genommen nichts entspricht, hat schon Stuart Mill hervorgehoben. Auch der aller Mathematik zu Grunde liegende Satz: „Gleiche Gröfsen auf gleiche Weise verändert ergeben wiederum gleiche Gröfsen" findet in der Erfahrung

keine volle Bestätigung, da es absolut gleiche Gröfsen und gleiche Veränderungen eben nicht giebt (vgl. Taine, der Verstand II. S. 270). Dafs „gerade die scheinbar einfachsten mechanischen Sätze auf unabgeschlossenen, ja sogar auf nie völlig abschliefsbaren Erfahrungen beruhen", wie Mach bemerkt, haben sie auch mit den übrigen Axiomen der Mathematik, z. B. dem Parallelenaxiom gemeinsam. Diejenigen, welche den kinematischen Teil des Beharrungsgesetzes bekritteln, sollten übrigens bedenken, dafs ohne dasselbe auch der Begriff der Zusammensetzung der Bewegungen unmöglich ist und wir nur durch jenes Gesetz erkennen, dafs jeder Bewegungszustand durch einen vorhergehenden bedingt, also ohne dasselbe eine rationelle Mechanik nicht denkbar ist.

§ 7. Das Gewicht als beschleunigende Kraft.

Unmittelbar durch das Gefühl, die Muskelempfindung, erfahren wir, dafs trotz der gleichen Fallbeschleunigung das Bestreben der Körper zu fallen verschieden ist. Wir bezeichnen die Gröfse dieses Bestrebens, welches sich in dem Druck und der Wirkung auf die Unterlage zu erkennen giebt, als Schwerkraft oder Gewicht des Körpers und bestimmen sie, indem wir der Fallbewegung irgend welche machinelle Hindernisse entgegenstellen. Schon Archimedes nimmt als Axiom an, dafs an den Hebelarmen eines in der Mitte unterstützten Wagebalkens gleiche Gewichte sich das Gleichgewicht halten, d. i. gegenseitig ihre Fallbewegung aufheben, und leitet daraus das Hebelgesetz ab. Als man im Zeitalter Galileis wieder anfing, mittels Mafs und Zahl über die Erscheinungen der Natur Aufklärung zu suchen, wurden natürlich auch die aus der Schwere der Körper hervorgehenden Gröfsen mathematischer Behandlung unterzogen. Der Gedanke, Gewicht und Fallbeschleunigung eines Körpers seien voneinander abhängig, liegt so nahe, dafs erst durch die Geistesarbeit Galileis ihre Unabhängigkeit voneinander nachgewiesen werden mufste. Da sich Galilei hauptsächlich mit der Erforschung der Bewegungsgesetze beschäftigte, trat für ihn das blofse Bestreben zu bewegen in den Hintergrund. Selbst wo er statische Verhältnisse behandelt, zieht er Bewegungen (das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten) heran. So nimmt er zur Ableitung des Hebelgesetzes an, das kleinere Gewicht an dem längeren Hebelarm wiege durch seine gröfsere Geschwindigkeit bei einer Drehung das Gewicht des schwereren, aber minder rasch bewegten Körpers auf. — Erst mit der Behandlung der unfreien Bewegungen finden wir das Gewicht als bewegende Kraft aufgefafst; denn hierbei tritt Druck und Bewegung zugleich in Erscheinung. Das Problem der Bewegung auf schiefer Bahn gab die Veranlassung zur Erkenntnis sowohl der Zusammensetzung der Kräfte, als ihres Verhältnisses zu den Beschleunigungen.

Noch ehe Galilei die Fallbewegung auf schiefer Bahn untersuchte, beschäftigte sich der Niederländer Stevin mit dem Gleichgewicht der Kräfte auf schiefer Bahn. Stevin denkt sich zwei schiefe Ebenen durch ein dreiseitiges Prisma gebildet, dessen eine Seite wagrecht liegt, und um dasselbe eine Schnur mit Kugeln geschlungen, die gleichweit voneinander abstehen, so dafs die Anzahl der Kugeln auf jeder der beiden Bahnen deren Länge proportional ist, während der übrige Teil der Kugelschnur im Bogen von dem Prisma herunterhängt. Wäre nun die Kraft, welche die Kugeln auf einer der beiden Bahnen herunterzieht, nicht der auf der andern Bahn gleich, so würden die Kugeln auf einer Seite herabgleiten und auf der andern hinaufgehen; dadurch kämen aber wieder ebensoviele Kugeln auf beide Bahnen als zuvor, und so würde die Bewegung kein Ende haben, was absurd sei. Stevins Beweisführung beruht also auf dem ganz instinktiven

Schlusse (Mach, S. 24), dafs ein solches perpetuum mobile selbst ohne Reibung und Luftwiderstand unmöglich sei. Indem er die eine Seite des Dreiecks vertikal annimmt, folgert er das bekannte Gesetz vom Verhältnis der Kraft längs der schiefen Bahn zum Gewichte des Körpers. Das Fundamentalgesetz aller Kräftezusammensetzung, die Gleichgewichtsbedingung dreier Kräfte P, Q, R leitet er ebenfalls hieraus ab, indem er den Körper zunächst als auf der schiefen Bahn $AB(= P)$ befindlich betrachtet; hierbei mufs P den Teil von R aufheben, welcher sich zu $P = AB$ verhält, wie die Höhendifferenz von A und B zur Länge von AB selbst ($P \cos \alpha$); ebenso hebt Q einen entsprechenden Teil auf ($Q \cos \beta$); das Gleichgewicht ist hergestellt, wenn die Summe dieser Teile $= R$ ist ($P \cos \alpha + Q \cos \beta = R$). (Marie, histoire des sciences mathém. et phys. III. p. 81).

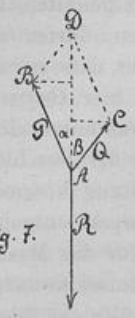


Fig. 7.

Hiermit war wohl das Gesetz der Zusammensetzung der Kräfte für die Statik gewonnen; allein für die Zusammensetzung der Beschleunigungen konnte es nicht fruchtbringend gemacht werden, so lange man noch nicht den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung erkannt hatte. „Niemand kann wissen, dafs Druck Bewegung mit sich bringt; die Erfahrung allein kann darüber belehren (Mach, S. 130). Wir sahen, wie Galilei in seinen Diskursen sich noch eines besonderen Axioms für die Bewegung auf schiefer Bahn bedienen mufste, obgleich ihm obiges Gesetz schon bekannt war; erst später versuchte er für diese Bewegung die Verhältnisse der Beschleunigungen durch ein Kräfteverhältnis zu erklären (Dühring, S. 42—45). — Gassendi (de motu impresso a motore translato, III. S. 495) nimmt für die Erde eine magnetische Kraft in Anspruch, die er als Attraktion bezeichnet und vermittelt denkt durch Körperteile, welche die Erde mit dem schweren Körper in Verbindung setzen; würde ein Körper in einen Raum versetzt, in welchem diese Attraktion nicht wirkt, überhaupt in einen leeren Raum, so würde er einmal ruhend stets in Ruhe bleiben, durch eine Kraft einmal in Bewegung gesetzt sich stets geradlinig und gleichförmig weiter bewegen. Den Beweis dafür entnimmt er der Gleichförmigkeit der horizontalen Bewegung bei einem Stofs. Wenn nun ein Körper nacheinander eine Reihe gleicher Antriebe erhalte, so nehme die Geschwindigkeit zu. Gassendi glaubt zwar erst, die Luft müsse hier mithelfen, später erkennt er aber (de proportione, qua gravia cadentia accelerantur, S. 122), dafs die Schwerkraft allein genüge. Schon Benedetti, ein Vorläufer Galileis, hatte auf diese Weise die Geschwindigkeitszunahme beim Fallen der Körper zu erklären versucht (Wohlwill S. 27 ff.); derselbe urteilte auch schon richtig über das Beharrungsvermögen beim Wurfe und bei der kreisförmigen Bewegung.

Wie auch Huygens die beschleunigte Bewegung aus der Addition der Geschwindigkeiten ableitete, haben wir oben gezeigt. Wir finden bei ihm noch die ursprünglichsten Auseinandersetzungen über das Verhältnis der Gröfsen von Kraft und Beschleunigung. In seiner Schrift über die Zentrifugalkraft (opuscula posth. II. S. 108), in welcher er die Schwere für das Streben zu fallen erklärt, sagt er: „Wenn ein schwerer Körper an einem Faden hängt, wird der Faden gezogen, weil der schwere Körper in der Linie des Fadens mit beschleunigter Bewegung zu fallen strebt. Es kann aber bei einer solchen beschleunigten Bewegung mehr oder weniger Weg in einerlei Zeit zurückgelegt werden, so wenn auf geneigter Bahn ein schwerer Körper an einem Faden parallel zur Bahn gehalten wird; denn auch hier strebt der Körper in der Linie des Fadens in beschleunigter Bewegung herabzugehen, aber nicht so, dafs er ebensoviel Weg in bestimmter

Zeit zurücklegt, wie wenn er an lotrechtem Faden herabgelassen worden wäre. Dabei wird nun hier ein geringeres Fallbestreben gefühlt, welches in der That um so viel geringer ist als jenes lotrechte, wie auch ein geringerer Weg in derselben Zeit auf der schiefen Bahn als in lotrechter zurückgelegt würde. So oft also zwei gleich schwere Körper, jeder an einem Faden gehalten, bestrebt sind, mit gleicher Beschleunigung in Richtung des Fadens sich zu bewegen, dürfen wir annehmen, dass auch die gleiche Zugkraft in jenen Fäden empfunden werde, sei es dafs sie abwärts oder aufwärts oder in irgend welcher Richtung gezogen würden.“ Obgleich hier Huygens auf das Gefühl zurückgeht, hat er doch wohl durch dieses nur bestätigt gefunden, was unmittelbar aus dem Vergleich der statischen Kräftezerlegung nach Stevin mit dem Verhältnis der Beschleunigungen folgt, welche nach Galilei auf schiefer Bahn und bei freiem Fall zur Geltung kommen. Da bei den Versuchen mit der schiefen Bahn als Kraft, welche dem Gewicht des Körpers entgegen wirkt, wiederum ein an einer Schnur hängendes Gewicht angewandt wird, so lag für das Messen der Kräfte der einfachste Fall vor; nur in Atwoods Fallmaschine treten die Verhältnisse zwischen Beschleunigung und Gewicht noch klarer zu Tage. Diese Vergleichung beider Verhältnisse führte nun erst zu der Einsicht, dafs die bis dahin nur im Drucke erkannte Kraft durch die Gröfse der erzeugten Beschleunigung gemessen werden könne. Erst hatte Galilei mit vielem Scharfsinn nachgewiesen, dafs die Geschwindigkeit des Fallens bei Körpern von verschiedenem Gewicht nicht dieser Kraft proportional sei, und nun wurde erkannt, dafs für einerlei Körper, ja für Körper von einerlei Gewicht, die Gröfse der Beschleunigung sich nach der Gröfse der zur Wirkung kommenden Kraft richtet. Es ergab sich zunächst der speziellere Satz:

Die Kraft, welche einen schweren Körper in Bewegung setzt, verhält sich zur Schwerkraft desselben, wie die Beschleunigung, die sie ihm erteilt, zur Fallbeschleunigung.

Ist P das Gewicht, d. i. die Schwerkraft des Körpers, g die Fallbeschleunigung, K eine Kraft und γ die von ihr dem Körper erteilte Beschleunigung, so ist $K : P = \gamma : g$, $K = \frac{P}{g}\gamma$.

Dies war der empirische Weg zu dem Satz der rationellen Mechanik:

Gleich heifsen konstante Kräfte, welche in einem Körper gleiche Beschleunigungen erzeugen. — Konstante Kräfte sind den Beschleunigungen proportional, welche sie einem bestimmten Körper erteilen.

Nach diesem Satz war es nun Newton ein leichtes (Wolfers, S. 32 und 33) die Zusammensetzung der Kräfte aus der der Beschleunigungen abzuleiten, wobei er als selbstverständlich und ohne den Gedanken nur in Worte zu kleiden annahm:

Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper wirken, so ist die Bewegung zusammengesetzt aus den relativen Bewegungen, welche jede Kraft für sich hervorruft; der resultierenden Bewegung entspricht die resultierende Kraft.

Weder dieser Satz noch der von der Zusammensetzung der Bewegungen selbst wird von Newton als Lehrsatz oder Axiom klar formuliert. Die Darstellung Newtons ist hierbei durchaus nicht so, als ob er die Urheberschaft beanspruchen wolle. Im selben Jahr 1687, in welchem Newtons Hauptwerk erschien, legte Lami in einer kleinen Schrift diese Beziehungen dar und benutzte Varignon, ebenfalls von phoronometrischen Betrachtungen ausgehend, die Zusammensetzung der Kräfte zur Erklärung der einfachen Maschinen (Dühring, S. 150). Aufser den

Beobachtungen an der schiefen Bahn hatten auch die in der Folge erwähnten Kräftewirkungen im Stofse auf den Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung geleitet.

Wären nicht die Gröfsen der Kräfte empirisch durch die Gewichte gegeben gewesen, so hätte die Erkenntnis des zuletzt hervorgehobenen Satzes jeder Gröfsebestimmung der bewegenden Kräfte vorangehen müssen; denn da der Gröfsebegriff die Zusammensetzung von Gleichartigem voraussetzt, so mufs die Möglichkeit der Zusammensetzbarkeit vor der Gröfsebestimmung nachgewiesen sein. Die Gröfse einer Kraft ist die Zahl der Krafteinheiten, welche in gleicher Richtung auf einen Körper wirkend die gleiche Bewegung wie jene hervorrufen; diese Bestimmung setzt somit die Erkenntnis voraus, wie zwei Kräfte zusammen eine einzige Bewegung hervorrufen können. Der Satz von der Proportionalität der Momentankraft mit der Geschwindigkeit und der sich aus Momentankräften nach Benedettis und Gassendis Darstellung zusammensetzenden konstanten Kraft mit ihrer Beschleunigung wird alsdann nicht als Axiom, sondern als Lehrsatz in der theoretischen Mechanik aufzuführen sein. Wir nehmen hier natürlich die Momentankraft als solche, die nicht ohne, sondern nur während unmefsbar kleiner Zeitdauer wirkt. In welche Widersprüche man sich verwickelt, wenn man auch bei der Bestimmung der Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt diesem gar keine Dauer zuschreibt, davon giebt Kant selbst ein Beispiel in seinen metaphysischen Anfangsgründen der Phoronomie (Erkl. 3. Anm., Kirchmann, S. 196).

§ 8. Das Gewicht als bewegte Masse.

Beim Versuche verschiedene Körper in Bewegung zu setzen, empfinden wir verschiedene Grade des Widerstandes oder des Beharrungsvermögens, m. a. W. es sind ungleiche Kräfte aufzuwenden, um ihnen eine bestimmte Beschleunigung zu erteilen. Diese Grade des Beharrungsvermögens entsprechen den Gewichten der Körper; sie bekunden sich schon dadurch, dafs eben bei verschiedenen Gewichten oder Schwerkräften die Fallbeschleunigungen doch immer dieselben sind. Allein ein Körper zeigt dasselbe Beharrungsvermögen allen anderen Kräften gegenüber in gleichem Grade; diese Thatsache ist die Grundlage für die oben gegebene Definition gleicher Kräfte. Das Beharrungsvermögen tritt in gleicher Stärke hervor bei Bewegungen, auf welche die Schwere keinen Einflufs hat, wie bei der Bewegung auf horizontaler Bahn. Auch bei letzterer Bewegung kommt zwar die Schwere insofern zur Wirkung, als der Reibungswiderstand von dem Gewicht abhängt; wollen wir aber irgend welche auf horizontaler Bahn bewegte Körper anhalten, so werden für den Fall, dafs ihre Geschwindigkeiten die gleichen sind, die aufzuwendenden Kräfte sich nur nach dem Grad des Beharrungsvermögens der betreffenden Körper unterscheiden. Schon Benedetti und Galilei wissen, dafs zur Erhaltung der Bewegung der schwerere Körper der geeignetere ist (Wohlwill, S. 95). Wir finden bei Galilei in dem Ausdruck „Moment“ eine Bezeichnung für die Kraft, welche sowohl von dem Gewicht als von der Geschwindigkeit abhängt, und zwar ist das Moment ebensowohl für das Bestreben in der Bewegung zu verharren, als für die Wirkung dieses Bestrebens ein Mafs (Dühring, S. 26). Von den Mafsen der Kräfte nach Descartes und Leibniz, welche bekanntlich zu den Begriffen der lebendigen Kraft und Arbeit leiteten, wollen wir hier absehen. Huygens sagt in seinem Schriftchen „Discours de la cause de la pesanteur“ (Leide 1690): „Es ist gewifs, dafs der Widerstand, welchen die Körper einer horizontalen Bewegung entgegensetzen, nicht durch ihr Gewicht gegen die Erde verursacht ist. — Es giebt also nichts als die Menge des Stoffes, die gerade der Körper enthält, welche diesen Widerstand erzeugt. Aber die

Erfahrung zeigt, dafs jedesmal, wenn zwei (auf horizontaler Bahn bewegte) Körper mit gleicher Geschwindigkeit zusammentreffen und sich gleichmäfsig zurückstofsen oder anhalten, diese Körper gleiches Gewicht besitzen; also folgt hieraus, dafs diejenigen, welche aus gleicher Stoffmenge zusammengesetzt sind, auch gleiches Gewicht haben.“ Wir sehen hier das Gewicht zunächst durch den fabelhaften Begriff der Stoffmenge verdrängt, um ebenso schnell wieder für letzteren herangezogen zu werden, da eben mit diesem Begriff nichts auszurichten ist. In seiner Abhandlung über die Bewegung der Körper durch den Stofs benützt Huygens den Begriff der Kraft nicht; vor dem Zusammentreffen haben die beiden Körper gewisse Geschwindigkeiten, nach demselben andere; die „beschreibende“ Mechanik sucht das Gröfsenverhältnis beider zu ermitteln. Huygens sagt zwar, dafs die Bewegungsgröfse zweier Körper bei gleicher Geschwindigkeit proportional „der Gröfse der Körper“ sei, allein er benützt diese Definition nicht zur Vereinfachung seiner Lehrsätze. Um der Bedeutung des Gewichts beim Stofse gerecht zu werden, ist er zu einem eigentümlichen Schmuggel genötigt. Er geht vom Beharrungsgesetze (Hyp. I) und von der Hypothese (II) aus, dafs zwei Körper von gleicher Gröfse, welche mit gleicher Geschwindigkeit zusammentreffen, mit derselben Geschwindigkeit nach dem Stofs zurückgehen; ferner (Hyp. V) wenn einer von zwei Körpern nach dem Stofs dieselbe Geschwindigkeit habe wie zuvor, nur gegengerichtet, so sei dies auch bei dem andern der Fall. Indem er sich noch des konstruktiven Axiomes (Hyp. III) bedient, dafs eine weiter hinzukommende gemeinsame Bewegung beider Körper nichts an den Wirkungen ändere, gelangt er schliefslich zu den Sätzen: (Propos. IV) „Sobald zwei Körper zusammenstofsen, ist die Geschwindigkeit, mit welcher sie sich voneinander entfernen, dieselbe wie die, mit welcher sie sich näherten,“ und (Prop. XI): „Die Summe der Produkte aus der Gröfse (dem Gewicht) und dem Quadrat der Geschwindigkeit ist vor und nach dem Stofs die gleiche.“ Sind also p und p_1 die Gewichte der Körper, c und c_1 die ursprünglichen ($c > c_1$), v und v_1 die schliefslichen Geschwindigkeiten (die wir uns bei gleichem Vorzeichen als gleichgerichtet denken), so entsprechen beiden Sätzen die Gleichungen: $c - c_1 = v_1 - v$ oder

$$c + v = c_1 + v_1 \quad \text{und} \quad pc^2 + p_1 c_1^2 = pv^2 + p_1 v_1^2.$$

Wie er den ersten Satz durch Einführung der relativen Bewegung (Hyp. III) gewinnt, wollen wir in Kürze charakterisieren. Lassen wir die Bewegungen beider Körper in einer Bahn (einem Schiffe) vor sich gehen, welche mit der Geschwindigkeit $-\frac{v_1 + c_1}{2}$ sich bewegt, so ist die absolute Geschwindigkeit des gestofsenen Körpers p_1 vor dem Stofse $c_1 - \frac{v_1 + c_1}{2} = -\frac{v_1 - c_1}{2}$ und nach dem Stofse $v_1 - \frac{v_1 + c_1}{2} = \frac{v_1 - c_1}{2}$, also beide einander gleich und entgegengesetzt; daher müssen auch (Hyp. V) die Geschwindigkeiten des stofsenden Körpers p vor und nach dem Stofs entgegengesetzte Gröfsen sein; sie ist aber vor dem Stofse $c - \frac{v_1 + c_1}{2}$ und nach dem Stofse $v - \frac{v_1 + c_1}{2}$, somit $c - \frac{v_1 + c_1}{2} = -v + \frac{v_1 + c_1}{2}$, $c + v = c_1 + v_1$. Den Beweis für den anderen Lehrsatz (Propos. XI) sucht Huygens mit Hilfe jenes Satzes zu erbringen, welchen er auch bei der Bewegung auf schiefer Bahn und beim Pendel zu Grunde legte, „dafs durch die Bewegung der Körper, welche von ihrer Schwere herrühre, ihr (gemeinsamer) Schwerpunkt nicht gehoben werden könne“; er zeigt nämlich, dafs der gemeinsame Schwerpunkt beider Körper, wenn die Geschwindigkeiten aufwärts gerichtet würden, nur bei der Annahme obigen Satzes (XI) vor und nach dem Stofs die

gleiche Höhe erreiche. Da die Steighöhen den Quadraten der Geschwindigkeiten proportional sind und da die Lage des Schwerpunktes aufser von der Steighöhe noch von den Gewichten der Körper abhängt, so ist hiermit obige zweite Gleichung gegeben und den Gewichten der Körper beim Stofse Rechnung getragen. Wir sehen hieraus, wie die Erfahrungen, welche man an den Bewegungen durch die Schwere gemacht hatte, selbst da, wo sie thatsächlich keine Bedeutung haben, verwendet wurden; man sieht ja doch nicht ein, wie auf die horizontale Bewegung jene Fiktion vom Aufsteigen der Körper Einflufs haben soll.*)

Auch die Zentrifugalkraft (de vi centrifuga) eines auf einem Kreis bewegten Körpers erkennt Huygens als von dem Gewichte abhängig. Diese Kraft entspringt aus dem Beharrungsvermögen und macht sich als eine Druck- oder Zugkraft an der festen Kreisbahn geltend; sie vermindert sich in dem Verhältnis, als ihr durch die Bewegung nachgegeben wird, wie dies auch für die Druckkraft der Schwere schon Galilei erkannt (siehe S. 4) und Poggendorff durch seinen Versuch mit der Wage bestätigt hat. „Sobald ein schwerer Körper auf einem Kreis bewegt wird, hat er das Streben in gerader Richtung weiter zu gehen und dies ist nichts anderes, als ob er in der Verlängerung des Radius mit gleichförmiger Beschleunigung während eines kleinen Zeitteilchens sich zu bewegen strebt. Dies Bestreben ist offenbar (!) dasselbe, wie das eines frei an einem Faden hängenden Körpers; hieraus schliefsen wir, dafs die Zentrifugalkräfte ungleicher Körper bei gleicher Geschwindigkeit sich verhalten wie die Gewichte der Körper oder ihre Stoffmengen. Wie nämlich alle schweren Körper mit gleicher Beschleunigung zu fallen streben, dieses Bestreben selbst aber um so gröfser ist, als sie selbst gröfser sind“, — so verhält es sich nach Huygens auch mit jenem Bestreben sich vom Zentrum zu entfernen (siehe S. 27).

Die Veranlassung zur Beschäftigung Huygens' mit dem Stofse der Körper ging von einer Aufforderung der königlichen Gesellschaft zu London 1668 aus; auch zwei englische Mathematiker Wallis und Wren entsprachen derselben. Während Wren den Stofs elastischer Körper experimentell untersucht, geht Wallis einen Schritt weiter als Huygens, indem er den Begriff der Stofskraft benützt; auch spricht er nicht von der Gröfse, sondern stets vom Gewichte der Körper; er sagt, die Kräfte seien den Gewichten proportional, welchen sie gleiche Geschwindigkeiten erteilen, während bei ungleichen Geschwindigkeiten sich die Kräfte wie die Produkte der Gewichte und Geschwindigkeiten verhalten. Wallis leitet hiernach die Gesetze des geraden Stofses starrer Körper aus der Annahme ab, dafs die Bewegungsgröfse, welche durch das Produkt von Gewicht und Geschwindigkeit ausgedrückt wird, vor und nach dem Stofs dieselbe sei. — Newton, welcher sich auf die Arbeiten der genannten Mathematiker bezieht (Wolfers, S. 40), bestimmt die Bewegungsgröfse als das Produkt der Geschwindigkeit und der Menge der Materie, dagegen die bewegende Kraft als das Produkt der Beschleunigung (beschleunigenden Kraft) in dieselbe Menge der Materie

*) Heute wird die zweite Gleichung an die Spitze der Betrachtung des Stofses elastischer Körper gestellt (Wüllner, Comp. d. Phys. I, S. 131), indem bei diesem Stofs die gesamte lebendige Kraft zur Geltung kommt. Die erstere Gleichung folgt aus der zweiten in Verbindung mit der Gleichung $pc + p_1 c_1 = pv + p_1 v_1$, welche ausdrückt, dafs die relative Summe der Bewegungsgröfsen (Stofskräfte) vor und nach dem Stofse dieselbe ist, wie dies der statischen Zusammensetzung der Stofskräfte im Moment der Berührung entspricht. Die Sätze von der Erhaltung der lebendigen Kräfte und von der relativen Summe der Bewegungsgröfsen sind aber in der That nur Verallgemeinerungen jener Huygensschen Hypothesen von dem Aufsteigen der Körper und von der Umkehrung der Geschwindigkeiten (Hyp. V).

(Wolfers, S. 25). „Daher verhält sich in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Fallbeschleunigung in allen Körpern dieselbe ist, die bewegende Kraft der Schwere oder das Gewicht wie der Körper", d. i. eben wie die Menge der Materie des Körpers. Newton versichert gleich zu Anfang seines klassischen Werkes, dafs er durch sehr genaue Pendelversuche gefunden habe, die Menge der Materie sei dem Gewichte proportional (Wolfers, S. 21 und 295). Wie aus der kinematischen Ableitung der Pendelformel aber hervorgeht, kann auf diesem Wege gar nichts weiter erkannt werden als die Übereinstimmung der Fallbeschleunigung bei allen Körpern. Will Newton hieraus auf das Verhältnis der „Menge der Materie" zu dem Gewichte schliefsen, so mufs er schon obige Annahme voraussetzen, dafs die Kraft, d. i. das Gewicht gleich dem Produkt der Fallbeschleunigung mit der Menge der Materie sei. Zur Unterscheidung der „Menge der Materie" von dem Gewichte war Newton veranlafst durch die Annahme, dafs das Gewicht im selben Verhältnis wie die Fallbeschleunigung mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnehme (s. u.), während die „Menge der Materie" eines Körpers, welche den Grad des Beharrungsvermögens bedingt, natürlich von ihm als konstant angenommen wurde.

Wir müssen, um nichts Hypothetisches in unsere Betrachtungen zu mischen, von der Menge der Materie ganz absehen, obwohl dieser Begriff noch häufig in den Lehrbüchern gebraucht wird. Es ist ja leicht, ihm eine hypothetische Unterlage zu geben, welche mit der Erfahrung nicht in Widerspruch ist; wir können die Menge der Materie als durch die Zahl der Angriffspunkte der Schwerkraft bestimmt ansehen oder durch die Gröfse der voneinander getrennt bestehenden Teilchen, wie Huygens es annimmt; allein es wird durch eine solche Hypothese für die Mechanik gar nichts gewonnen. Wir können wohl bei einerlei Stoff verschiedene Mengen unterscheiden; diese Mengen werden hierbei manchmal nach dem Volum, manchmal nach dem Gewichte bestimmt. Wird durch ein Zusammenpressen eines Stoffes dessen Volum, nicht aber seine Menge und sein Gewicht geändert, so können wir nur noch das Gewicht zur Bestimmung der Stoffmenge benützen. Aber Stoffmengen verschiedenartiger Körper können nicht vereinigt werden zu einer Menge des „Stoffes an sich"; denn von einem solchen können wir überhaupt nichts aussagen (vgl. Kant, metaph. Anf. d. Dyn. II. Hauptst. allg. Anm., Kirchmann S. 253). Zudem ist das Gewicht eines Körpers veränderlich, während die Stoffmenge als unveränderlich betrachtet wird.

Wenn jener Grad des Beharrungsvermögens nur von den Gewichten abhängig wäre, so wäre es Luxus zu der uns durch diese gebotenen Skala noch eine gleichlaufende anzunehmen; es läfst sich jene Gröfse aber nur durch das Verhältnis der Schwerkraft und der durch sie erzeugten Beschleunigung messen. Die Unterschiede in dem Beharrungsvermögen zeigen sich nämlich darin, dafs um einerlei Beschleunigung zu erteilen, verschieden grofse Kräfte notwendig sind; wir können also als Gradmesser des Beharrungsvermögens diejenige Kraft nehmen, welche dem Körper die Beschleunigung 1 erteilt. Wählen wir für den in Frage stehenden Grad des Beharrungsvermögens die Bezeichnung „Masse", so ist allerdings zu bedenken, dafs der aufserwissenschaftliche Gebrauch dieses Wortes auch auf eine Stoffmenge hinweist; doch die Mathematiker machen nach Goethes Ausspruch, wie die Franzosen, immer etwas anderes aus dem, was sie in ihre Sprache übersetzen.

Wir nennen jedes räumliche Gebilde eine Masse, insofern es einer Kraft zur Bewegungsänderung bedarf. Die Gröfse der Masse eines solchen Gebildes wird bestimmt durch die Kraft, welche ihm die Beschleunigung 1 erteilt.

Die Ursache der Verschiedenheit der Massen ist der Mechanik gleichgültig; nur ihre Gröfsenverhältnisse zieht sie in Betracht. Es wird die Gröfse der Masse durch die Kraft bestimmt, vermöge deren der Körper eine gewisse Stellung oder Bewegung beizubehalten bestrebt ist. Wenn Wundt (Logik II, S. 253) Newton den Vorwurf macht, dafs er bei der Formulierung des Gesetzes vom Beharren dieses „aus einer qualitas occulta erkläre", so hat doch der Grad des Beharrungsvermögens, wie er sich empirisch in der Verschiedenheit der Massen ausspricht, in der That eine innere Ursache, die wir nicht weiter verfolgen können. Später (II, S. 274) schränkt Wundt selbst den Massenbegriff ganz auf die in unserer Definition gegebene Beziehung ein. Diese Definition der Masse, welche das Beharrungsgesetz in sich schliefst und demselben noch eine Gröfsenbeziehung hinzufügt, entspricht vollkommen der Anwendung des Begriffes in der Mechanik, ohne irgend eine Hypothese über die Konstitution des Stoffes vorauszusetzen, wie dies bei den gebräuchlichen Definitionen der Fall ist. „Die wahre Definition der Masse", sagt Mach (S. 225), „kann nur aus dynamischen Beziehungen der Körper abgeleitet werden." Unsere Definition ist eine dynamische, jedoch abweichend von der von Mach aufgestellten, auf welche wir noch zurückkommen werden.

Die Schwerkraft P erteilt einem Körper die Fallbeschleunigung g; daher ist die Kraft, welche ihm die Beschleunigung 1 erteilt: $m = \frac{P}{g}$. Die Masse wird somit durch das Verhältnis der Schwerkraft eines Körpers zur Fallbeschleunigung desselben dargestellt; dafs dieselbe Gröfse für das Verhältnis einer Stofskraft zu der von ihr erzeugten Geschwindigkeit gilt, ist selbstverständlich, wenn die beschleunigte Bewegung durch Summation der Geschwindigkeiten und die konstante Kraft als kontinuierliche Reihe von Stofskräften betrachtet wird. Soll der Körper die Beschleunigung γ durch die Kraft K erhalten, so ist: $K : P = \gamma : g$, $K = \frac{P}{g}\gamma = m\gamma$. Der Faktor m hat also selbst die Bedeutung einer Kraft; da wir eine Kraft nur durch eine Kraft messen, so ist m als Multiplikand aufzufassen; er giebt die Kraft an, welche γmal genommen (γ als unbenannter Multiplikator gedacht) die Beschleunigung γ in dem schweren Körper erzeugt. Die Kraft m selbst ruft in diesem Körper nur die Beschleunigung 1 hervor. — Nach obiger Definition ist eine besondere Bestimmung der Masseneinheit nicht notwendig, da sie eben eine Kraft ist. Als Krafteinheit wurde bis in die neueste Zeit das Gewicht eines Platinstückes des Archives in Paris angenommen (1 Kilogramm), das möglichst genau dem Gewicht eines Kubikdecimeter Wasser von gröfster Dichte gleichkommt. Die Masse dieses Gewichtes ist dann $\frac{1}{g}$, wenn g die Beschleunigung der Schwere in Paris ist; g solcher Platinstücke haben die Masse 1, d. h sie bedürfen nur der Schwerkraft eines derselben in Paris, um die Beschleunigung 1 zu erhalten. Das Gewicht eines Körpers kann aber auch direkt zur Bestimmung der die Masse bezeichnenden Kraft dienen; diese Art der Messung verdient sogar den Vorzug wegen der Veränderlichkeit der Schwerkraft, wie dies unten angegeben wird.

Die Mechanik lehrt, wie die Massen und Gewichte eines Körpers in einem einzigen Punkt, dem Schwerpunkt, vereint gedacht werden können; auch hier bringt obiger Begriff von Masse mehr Klarheit, als der landläufige von der Menge der Materie. Auch der Begriff „Dichte" kann im Sinne unserer Definition gedeutet werden. Für einen durchweg gleichartigen Stoff ist die Masse dem Volumen proportional, d. h. die Kräfte, welche den Teilen des Stoffes einerlei Beschleunigung

erteilen, verhalten sich wie die Volumina dieser Teile. Für gleiche Volumina zweier ungleichartigen Stoffe bestimmt das Verhältnis ihrer spezifischen Gewichte auch das Verhältnis ihrer „Dichten“ und nur diese relativen Gröfsen sind hier von Bedeutung.

§ 9. Die Veränderlichkeit der Schwerkraft und Unveränderlichkeit der Masse.

Bei Newton erweitert sich der Kraftbegriff, indem Newton für die Bewegung der Weltkörper je eine Zentralkraft annimmt, welche weder in Richtung noch in Gröfse konstant bleibt; für jedes einzelne Zeitteilchen ist diese Kraft durch eine konstante Kraft ersetzbar, welcher die Beschleunigung während dieses Zeitteilchens entspricht (Wolfers, S. 50, § 10). Auch bei Huygens finden wir dieselbe Darstellung einer veränderlichen Kraft; er sagt (de vi centrifuga), dafs auf das Vorhandensein einer Kraft zu schliefsen ist, sobald ein Bestreben zur Änderung der Bewegung gemäfs einer Beschleunigung in einer bestimmten Richtung erkannt wird, gleichviel ob diese Beschleunigung thatsächlich zur Geltung kommt oder nicht; dabei komme nur jeweils die in einem möglichst kleinen Zeitteilchen erlangte Beschleunigung in Betracht, um die Kraft während desselben zu bestimmen, während in den folgenden Zeitteilchen Beschleunigung und Kraft sich ändern könne (opusc. posth. II, S. 109). Huygens führt als Beispiel hierfür den Fall an, da ein Körper an einem Faden neben einer gekrümmten Bahn hängt, welche an der Stelle neben dem Körper lotrecht ist; das Fallbestreben und die anfängliche Fallbeschleunigung entsprechen hier vollauf der Wirkung der Schwere, während die folgende Bewegung auf der Kurve mit einer sich ändernden Beschleunigung stattfindet.

Als Mafs der Kraft dient bei Newton in jedem Zeitpunkt das Produkt der Beschleunigung mit der Masse des Körpers. Wir haben die rein dynamische Bedeutung der letzteren Gröfse nachgewiesen; sie soll nur der Ausdruck dafür sein, dafs zur Erteilung gleicher Beschleunigungen in einem Körper immer die gleiche Kraft, in verschiedenen Körpern verschiedene Kräfte erforderlich sind. Nach dieser Auffassung könnte man sich die Frage stellen, ob die Masse eines Körpers beim Wechsel des Ortes unverändert bleibt, d. h. ob ein und dieselbe Kraft dem Körper an einer Stelle des Weltraumes diese, an anderer Stelle eine andere Beschleunigung erteilen könne. Dies kommt natürlich gar nicht in Frage für denjenigen, welcher in der Masse die Menge der Materie eines Körpers erkennt, wie dies Newton thut; für ihn ist die Masse eines Körpers keine Funktion des Ortes. Sobald er daher erkannt hat, dafs die Beschleunigungen der Weltkörper einer solchen Funktion entsprechen, gilt ihm genau dasselbe Gesetz auch für die Kräfte, welche diese Beschleunigungen hervorrufen. Die Unveränderlichkeit der Masse und die Veränderung der Schwerkraft im selben Verhältnis wie die Fallbeschleunigungen erfordern sich gegenseitig. Die Schwerkraft P in der Entfernung r werde zu P_1 in der Entfernung r_1 vom Erdmittelpunkt, die Beschleunigung g zu g_1, so ist $g_1 = g\left(\frac{r}{r_1}\right)^2$ und nach Newtons Annahme auch $P_1 = P\left(\frac{r}{r_1}\right)^2$; daher $\frac{P_1}{g_1} = \frac{P}{g} = m$ dieselbe Masse an beiden Orten. — Der empirischen Erforschung der Schwere stehen noch zwei Wege offen, das fragliche Verhältnis zu ermitteln, die direkte Bestimmung der Schwere und die direkte Bestimmung der Masse eines Körpers in verschiedenen Entfernungen vom Erdmittelpunkt. Den ersteren Weg schlug in neuester Zeit aufs einfachste und beste v. Jolly ein (Abh. d. Bayer. Akad., Bd. 14, Ab. II), indem er einen Wagbalken mit zwei Schalenpaaren versah, die 21 Meter tief untereinander angebracht waren; die Zunahme im Gewichte des Körpers zeigte sich dem

Newtonschen Gesetze entsprechend, wenn er aus der oberen in die untere Wagschale gebracht wurde (über andere Apparate von Mascart und Issel um Gewichtsveränderungen zu beobachten, siehe Günther, Geophysik I, S. 159 ff.). Was nun noch die direkte Bestimmung des Beharrungsvermögens eines Körpers in verschiedenen Entfernungen vom Erdmittelpunkt betrifft, so müsste dasselbe an Bewegungen gemessen werden, welche die Schwerkraft nicht beeinflufst und welche durch dieselbe Kraft an beiden Orten hervorgerufen würde. Solche Versuche wurden wohl noch nie gemacht, da jedermann die Masse eines Körpers als unveränderlich betrachtet, auch die Schwierigkeiten, den genannten Bedingungen nachzukommen, nicht gering sind. Auch die terrestrischen Bestimmungen der Veränderungen in der Schwere sind bis jetzt bei der Herrschaft der Newtonschen Hypothese über die Gravitationskräfte in so spärlicher Zahl ausgeführt und ihre Resultate sind zugleich so sehr durch Nebeneinflüsse unsicher gemacht, dafs die Sicherheit dieses dynamischen Teiles von Newtons Gesetz weit zurücksteht gegen die des kinematischen Teiles von den Beschleunigungen. Während z. B. bei v. Jollys Versuchen, bei welchen mit der peinlichsten Sorgfalt alle störenden Umstände beseitigt wurden, die Abweichung des Resultats von der Newtonschen Formel 4% beträgt und als durch lokale unberechenbare Einflüsse bedingt angenommen wird, ergab dagegen der neuerdings gemachte Versuch, das Gesetz der Beschleunigungen von Newton durch die Webersche elektrodynamische Formel zu ersetzen oder für die Übertragung der Gravitation eine Zeitdauer in Rechnung zu bringen, für die Bewegungen der Planeten so geringe Abweichungen, dafs man für den Grad der durch die Beobachtungen erzielbaren Genauigkeit die Newtonsche Formel als noch gesichert betrachten kann (vgl. Oppolzers Vortrag in Salzburg, Sirius 1882, S. 64 ff., Günther, Geoph. I, S. 156); allerdings war man infolge von Kometenbeobachtungen veranlafst, eine Abweichung von den Newtonschen Bewegungsgesetzen als Folge eines Widerstand leistenden Mediums anzunehmen.

Die Art der Bestimmung der Gewichtssätze führt dazu, das Gewicht nicht die Schwerkraft eines Körpers, sondern dessen Masse bezeichnen zu lassen. Die Gewichtstücke werden nämlich bestimmt nach dem als Kilogramm bezeichneten Platingewicht in Paris. Drückt ein Gewichtstück m Kilogramm aus, so stellt es an jedem andern Ort eine andere Schwerkraft dar; die Masse des Stückes wird dagegen als konstant angenommen. Es liegt daher nahe, durch die Stempelzahl m des direkt oder indirekt nach dem pariser Platinstück bestimmten Gewichtstückes die Masse zu bezeichnen. Man nimmt somit neuerdings (seit Gauss die magnetischen Kräfte einheitlich messen lehrte) als Masseneinheit die Masse jenes Kilogramms in Paris, das an jedem andern Ort auch dieselbe Masse beibehält. Die Gröfse der Kraft, welche dieser Masse irgend eine Beschleunigung erteilt, ist dann gleich der Gröfse dieser Beschleunigung selbst, die Gröfse der Schwerkraft in ihr $= g$, wenn g die Fallbeschleunigung an dem betreffenden Orte darstellt. Daher ist die Krafteinheit, welche ihr die Beschleunigung 1 erteilt, an jedem beliebigen Orte gemessen durch die Schwerkraft von $\frac{1}{g}$ Kilogramm. Der Verringerung der Fallbeschleunigung mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt entspricht somit eine Vermehrung desjenigen Bruchteils eines Kilogramms, dessen Schwerkraft der Krafteinheit gleichkommt, während letztere selbst unverändert bleibt. Man nennt daher dieses Kräftemafs das absolute. Konsequenter Weise darf nun das Gewicht oder die Anzahl der Kilogramme nicht mehr als die Schwerkraft eines Körpers bezeichnet werden, sondern als seine Masse. Die Schwerkraft P ist gleich dem Produkt der Kilogrammzahl m mit der an

dem betreffenden Ort herrschenden Fallbeschleunigung g, $P = mg$. Indem das Gewicht als Masse bezeichnet wird, verliert es jedoch nicht seine ursprüngliche Bedeutung, eine Kraft zu sein; es ist diejenige Kraft, welche dem betreffenden Körper die Beschleunigung 1 erteilt; da nämlich die Schwerkraft P die Fallbeschleunigung g hervorruft, so ist jene Kraft $= \frac{P}{g} = m$. Nur weil die Masse selbst in der Mechanik nichts als eine Kraft bezeichnet, war es möglich ein und dieselbe Gewichtseinheit erst als Krafteinheit und dann als Masseneinheit gelten zu lassen.

§ 10. Die Intensität der Gravitationsbeschleunigung als Mafs der Masse.

Die Masse spielt bei Newton noch eine zweite Rolle, in der wir sie nicht mit der uns bis jetzt bekannten verwechseln dürfen. Nach der bisherigen Auffassung ist die Masse eines Körpers dasjenige, was die Gröfse der Kraft bedingt, welche zu einer bestimmten Bewegungsänderung des betreffenden Körpers notwendig ist. Je gröfser die Masse eines Körpers, desto gröfser das Bestreben in Ruhe oder geradliniger gleichförmiger Bewegung zu beharren. Dies ist die erste dynamische Bedeutung dessen, was Newton mit Masse oder Menge der Materie bezeichnet. In der zweiten Bedeutung geben die Massen der Weltkörper das Verhältnis zwischen den Intensitäten der Beschleunigungen an, welche nach jedem einzelnen gerichtet sind. Je gröfser die Masse eines Körpers, desto gröfser ist die Beschleunigung eines anderen Körpers gegen ersteren. Dies ist die zweite, kinematische Bedeutung der Masse bei Newton. Die erstere Masse ist die des bewegten Körpers, die letztere die des Körpers, gegen welchen der bewegte Körper sich beschleunigt bewegt. Nur letztere (d. i. eigentlich die Intensität der Beschleunigung) kommt bei der gegenseitigen Bewegung der Weltkörper in Betracht; wenn auch Newton glaubt, die „eigene Masse" des bewegten Weltkörpers heranziehen zu müssen, so fällt sie doch stets aus der Rechnung heraus und es bleiben nur Beschleunigungen nach den andern Weltkörpern übrig, wie wir dies in § 4 und 5 dargethan haben. Handelt es sich dagegen wie bei der Präzession um das Zusammenwirken der den einzelnen Teilen der Erde zukommenden Beschleunigungen, so müssen auch die Gröfsen der zugehörigen Raumteile bezw. die Gewichte oder Massen derselben beachtet werden, da diese Gröfsen, wie die Erfahrung im kleinen lehrt, die Bewegung und das Gleichgewicht beeinflussen. Beide so verschiedenartigen Beziehungen geben dem betreffenden Körper in seinem mechanischen Verhalten zu allen übrigen Körpern ein bestimmtes eigentümliches Gepräge, so dafs Newton beide Beziehungen als vom Stoff abhängig und der „Menge der Materie" entsprechend annehmen konnte. Von den drei als identisch angesehenen Begriffen: Menge der Materie, Grad des Beharrungsvermögens und Intensität der Gravitationsbeschleunigung ist in der Bewegungslehre der Astronomie nur der dritte von Bedeutung; der zweite konnte nur durch Übertragung des Kraftbegriffs auf die Bewegung der Weltkörper und mittels eines besonderen Prinzipes, das wir jetzt kennen lernen werden, herangezogen werden, während die „Menge der Materie" nur durch zweifelhafte Hypothesen über die Natur des „Stoffes an sich" ihr Dasein fristet.

Aus den angeführten Abhandlungen von Wren, Wallis und Huygens über den Stofs der Körper zog Newton (Wolfers, S. 40) mit der ihm eigentümlichen Fähigkeit zu verallgemeinern den Schlufs, dafs die Kraft, durch welche ein Körper bewegt wird, zugleich auch die Kraft ist, mit welcher er die Bewegung auf andere Körper überträgt. Es ist dies das Gesetz der Wechselwirkung, welches von Huygens schon in einem speziellen Fall benützt (vgl. S. 28, Hyp. V),

auch von Wren ausgesprochen und von Newton in folgende Form gebracht wurde (Wolfers, S. 32): „Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.“ Newton erläutert dies nicht bloſs an der Wirkung zweier aufeinander stoſsenden Körper, sondern auch für den Druck und Zug, bei welchen der ausgeübten Kraft stets eine gleiche Kraft entgegenwirke. — Eine weitere Verallgemeinerung, welche sich an jene Abhandlungen vom Stoſs anschlieſst, besteht darin, daſs dort nur die unmittelbare Berührung zweier relativ bewegten Körper als Ursache der Bewegungsänderung in beiden erscheint, während nach dem Gravitationsgesetz das Vorhandensein zweier Körper allein schon, auch wenn sie sich nicht berühren, eine Bewegungsänderung in jedem der beiden zur Folge hat. Zwar ist sich Newton nicht klar darüber, ob die Bewegung nicht doch veranlaſst werde durch geheime Stöſse eines „Mediums“ ätherischer oder spiritistischer Natur; selbst vor letzterem schrickt der theologisch geschulte Engländer nicht zurück, was uns veranlassen muſs, überhaupt seinen Bemerkungen über diesen Punkt kein Gewicht beizulegen. Mit glücklicher Resignation erklärt er jedoch alles dies für gleichgiltig, da er nicht „die physischen Ursachen und Sitze der Kräfte, sondern nur ihre mathematischen Gröſsen und Verhältnisse erwäge“ (Wolfers, S. 24 und 191). Sein Rivale Hook hatte sich schon früher für die einfache Anziehung als Ursache der Bewegung ausgesprochen. Im Hinblick auf den neuerdings wieder angefachten Streit, ob Fernwirkung denkbar sei oder nicht, möchten wir nur an den Ausspruch Stuart Mills erinnern: „daſs das, was die Menschen begreifen, wie das, was sie nicht begreifen, gänzlich von ihren Erfahrungen und Denkgewohnheiten abhängt; daſs sich die Menschen durch das Kultivieren der erforderlichen Ideenassociationen unfähig machen können, irgend ein gegebenes Ding zu begreifen, und daſs sie sich in den Stand setzen können, die meisten Dinge zu begreifen, so unbegreiflich sie ihnen auch im Anfang erscheinen mögen.“

Newton überträgt das Gesetz der Wechselwirkung von terrestrischen Thatsachen auf die kosmischen Bewegungen, indem er sich überall Kräfte thätig denkt und zwar zwischen zwei Weltkörpern gleiche gegengerichtete Kräfte. In populären Schriften über diesen Gegenstand wird immer die Kühnheit des Gedankenfluges gepriesen, welcher den Fall des Apfels vom Baume mit der Bewegung des Mondes vergleicht. Nicht minder bedeutsam ist aber der Gedankengang Newtons, indem er von dem Gleichgewicht der Kräfte ausgehend, mit welchen irgend zwei Körperteile der Erdkugel an ihrer Trennungsfläche gegeneinander drücken, zu der Erkenntnis geführt wird, ein auf der Erde ruhender Stein werde durch den Gegendruck der gesamten Erde im Gleichgewicht gehalten (Wolfers, S. 529). Newton führt hier als Grund das Gesetz der Wechselwirkung an; allein es genügt hierzu schon die Thatsache, daſs nur gleiche gegengerichtete Kräfte an einer Stelle einander das Gleichgewicht halten. Eine Trennung des Körpers von der Erde ändert erfahrungsgemäſs die eine dieser Kräfte, die Schwerkraft des Körpers, nicht merklich, wird also an der ursprünglich gegengerichteten Kraft der Erde ebensowenig ändern. Hiermit ist die Gleichheit der Gravitationskräfte zweier Körper aus dem Gleichgewicht zweier Kräfte abgeleitet. Aus dieser Gleichheit folgt aber unter Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Masse eines Körpers auch die Proportionalität zwischen Masse und Intensität der Beschleunigung. Sind i und i_1 die Intensitäten, mit welchen die Bewegungen gegen den ersten und den zweiten Körper stattfinden, r ihre gegenseitige Entfernung, so sind ihre Beschleunigungen $\frac{i_1}{r^2}$ und $\frac{i}{r^2}$. Bedarf nun der erste

Körper, um die Beschleunigung 1 zu erhalten, die Kraft m, der zweite die Kraft m_1, so sind die Kräfte, welche jene Beschleunigungen bewirken, $\frac{m i_1}{r^2}$ und $\frac{m_1 i}{r^2}$. Nach dem Gesetz der Wechselwirkung ist nun: $\frac{m i_1}{r^2} = \frac{m_1 i}{r^2}$ oder $m : m_1 = i : i_1$, d. h.:

Die Intensitäten der Beschleunigungen nach den einzelnen Körpern sind den Massen derselben proportional.

Ist somit gegen einen Körper von der Masse 1 die Intensität der Beschleunigung $= f$, so ist gegen einen von der Masse m_1 dieselbe $= m_1 f$; die Beschleunigung, welche gegen ihn in einem zweiten Körper von der Masse m in der Entfernung r erzeugt wird, ist dann $\gamma = \frac{m_1 f}{r^2}$ und die Kraft, welche dieser Beschleunigung entspricht, ist $m\gamma = \frac{m m_1 f}{r^2}$. Dieselbe Kraft ergiebt sich für die Beschleunigung des andern Körpers.

Die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern ist in jedem gleich grofs und zwar dem Produkt beider Massen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional.

Von terrestrischen Beobachtungen, dafs die Intensitäten der Beschleunigungen den Massen ihrer Zentra proportional seien, weifs Newton noch nichts; er kennt (Wolfers, S. 528) die Geringfügigkeit der Wirkungen irgend welcher Körper gegenüber der Gesamtkraft der Erde, berechnet aber doch schon, um wieviel die Anziehung eines Berges von bestimmter Gestalt und Masse das Senkblei von der lotrechten Lage ablenken müsse. Solche Lotablenkungen wurden seitdem von mehreren Physikern beobachtet (vgl. Humboldt, Kosmos. I, S. 424 und IV, S. 32; Günther, Geophysik, S. 167). In den verschiedenartigen Horizontalpendeln besitzen wir ferner Apparate, welche auch die Wirkungen kleinerer Massen zu messen gestatten (Günther, Geoph. I, S. 156 ff. und S. 184 ff.). Bei diesen Apparaten wird für einen horizontalen Stab, welcher um eine vertikale (oder nahezu vertikale) Axe schwingt, zunächst aus der Schwingungszahl die Beschleunigung bestimmt, welche der Stab in Richtung seiner Ruhelage erfährt, sobald er aus derselben gebracht wird, ähnlich wie die Fallbeschleunigung mittels des Vertikalpendels. Bewirkt nun ein zur Seite des Horizontalpendels aufgestellter Körper eine Ablenkung aus der Ruhelage, so kann aus dem Ablenkungswinkel nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Beschleunigungen die Gröfse der Beschleunigung γ bestimmt werden, welche gegen den seitlichen Körper gerichtet ist. Auch ein Pendel, dessen Schwerpunkt dicht unter dem Unterstützungspunkt liegt, wird zu derartigen Messungen vorgeschlagen (Sitzungsbericht d. Berl. Ak., 8. Jan. 1885). Solche Versuche wurden übrigens nicht sowohl angestellt, um die Intensitäten der Beschleunigungen nach verschiedenen Körpern mit deren Massen zu vergleichen und so die Newtonsche Annahme empirisch zu bestätigen, als vielmehr zur Ermittelung der sog. Erddichte. Ist ϱ die Entfernung der Zentra der gegenseitigen Anziehung in dem Apparate, so ist die Intensität der Beschleunigung gegen die seitliche Masse $\gamma\varrho^2$; wenn die Masse des Körpers m ist, so mufs unter Annahme von Newtons Gesetz der Proportionalität der Intensitäten und Massen die Intensität der Masseneinheit den Wert haben: $f = \frac{\gamma\varrho^2}{m}$, wobei als Masseneinheit die Masse der Volumeinheit Wasser gewählt wird. Die Intensität der Beschleunigung gegen die Erde ist $J = gr^2$, wenn g die Fallbeschleunigung im Abstand r vom Erdmittelpunkt ist. Die mittlere Intensität der Volumeinheit des Erdkörpers, d. h. die Intensität, welche gegen die Volumeinheit der Erde gerichtet wäre unter der Annahme, dafs die gesamte

Intensität auf alle gleiche Volumina gleich verteilt wäre, ist dann $\frac{J}{V}$, wenn V das Erdvolum ist. Das Verhältnis dieser Intensität zu der nach der Volumeinheit Wasser ist nach Newtons Annahme zugleich das Verhältnis der Massen gleicher Volumina von Erde (im Mittel) und Wasser oder das Verhältnis der mittleren Dichte des Erdkörpers und des Wassers: $d = \frac{J}{V} : f = \frac{J}{Vf}$. Bestimmen wir hieraus umgekehrt die Intensität der Masseneinheit $f = \frac{J}{Vd}$, so ist ersichtlich, dafs Newtons Annahme für alle solche Versuche einen konstanten Wert für f und für d erfordert, da die anderen Gröfsen des Ausdrucks an sich schon eindeutig bestimmt sind. Die Bestimmungen der Erddichten aus solchen Versuchen schwanken aber mindestens zwischen 5,5 und 5,7, so dafs eine Bestätigung durch diese Versuche bis jetzt nicht als gelungen zu betrachten ist. Auch die Wage benützte von Jolly zur Bestimmung der Massenattraktion und Erddichte, indem er in dem oben genannten Apparat der unteren Wagschale einen schweren Körper nahe brachte und so die Schwere durch dessen Attraktion vermehrte (s. die zitierte Abh. S. 19 ff.; vgl. Sitzungsbericht d. Berl. Ak. 1884, LVI, 1203 ff. Versuche von König und Richarz in Spandau).

Die historische Entwicklung führte von dem Massenbegriff, welcher aus dem ungleichen Beharrungsvermögen der Körper entspringt, mit Hilfe des Gesetzes der Wechselwirkung zum Begriff der Masse als Ursache der Gravitation. Der umgekehrte Weg wurde von Mach eingeschlagen. Hiernach wäre die Masse zunächst die Ursache der Wechselwirkung zweier Körper in Richtung aufeinander; die Gröfse der Masse eines jeden Körpers ist proportional der Beschleunigung, welche er dem andern erteilt. Mach (S. 205 und 227) weist darauf hin, dafs dieser Massenbegriff das Prinzip der Wechselwirkung schon in sich schliefst (S. 205 und 206), ja dafs hiermit der Satz der Trägheit schon eingeschlossen sei (S. 227). In der That kann man auch allem dem zustimmen, solange man sich auf die Gravitationsmechanik beschränkt; denn diese kennt keine andere Beschleunigungen als die durch die Gravitation hervorgerufenen; wir bleiben hiermit innerhalb des Rahmens der Kinematik. Die „bewegende Kraft", welche dann nach Mach „das Produkt aus dem Massenwert eines Körpers in seine Beschleunigung ist" (S. 227), wäre darnach jedoch nichts als das Produkt der letzteren Beschleunigung mit derjenigen, welche der Körper einer bestimmten andern Masse erteilt. Um die Mefsbarkeit der Massen durch die Gewichte nachzuweisen, setzt Mach (S. 206) für zwei an einem Faden (über einer Rolle) befestigten Massen m und m_1, welche durch „äufsere Umstände", d. h. nicht durch die Wechselwirkung der Massen (sondern durch ihre Gewichte) die entgegenwirkenden Beschleunigungen φ und φ_1 erhalten, als Gleichgewichtsbedingung die Gleichung $m\varphi = m_1\varphi_1$, wo dann für $\varphi = \varphi_1$ auch $m = m_1$ sein müsse. Es ist nicht klar, wie diese Gleichgewichtsbedingung ohne den landläufigen Begriff von Kraft zustandekommen soll; dieser darf aber hier nicht vorausgesetzt werden, da aus obigem Massenbegriff durchaus noch nicht erkannt werden kann, ob und wie durch die Masse die Wirkung einer aus „äufseren Umständen" herrührenden Kraft beeinflufst wird. Wir glauben der Meinung des geistreichen Physikers näher zu kommen, wenn wir die obige Definition der Masse in ausgedehnterem Sinne fassen, nämlich so, dafs die Beschleunigungen oder Geschwindigkeiten, welche unter übrigens gleichen „äufseren Umständen" in Wechselwirkung an zwei Massen auftreten, sich umgekehrt wie diese verhalten $m : m_1 = \varphi_1 : \varphi$; allein dann möge er uns gestatten, dafs wir als dii minorum gentium auch die „äufseren Umstände" ins klare bringen durch die Anerkennung der Thatsache, welche Newtons

Prinzip der Wechselwirkung entspricht, dafs nämlich im selben Verhältnis, in welchem die Masse eines Körpers beschleunigend auf einen anderen Körper wirkt, auch die Kraft steht, welche dieser Masse selbst eine bestimmte Beschleunigung erteilt.*)

Kraft und Masse in der theoretischen Mechanik.

Von den Definitionen und Sätzen unserer drei Begründer der Mechanik haben wir bisher im wesentlichen alles gelten lassen mit Ausnahme der „Menge der Materie". Wir zeigten, dafs erst aus der Kenntnis der Kraft und ihrer Wirkung auf das geschlossen werden kann, was in der Mechanik als Masse gilt, ja dafs die Gröfse der letzteren selbst durch eine Kraft bestimmt wird; wir gelangten so zu einem rein empirischen und zugleich dynamischen Massebegriff, wie ihn die Mechanik allein bedarf. Hiermit steht die Mechanik auch neueren Hypothesen über die Masse unparteiisch gegenüber, wie z. B. der von v. Dellinghausen aufgestellten (die Schwerkraft oder das Wirksamwerden der potentiellen Energie, S. 51), nach welcher die Masse den inneren Bewegungsmomenten der Körper proportional sein soll. — Es erscheint unzulässig, die Masse undefiniert als Beschleunigungsfaktor in die Mechanik einzuschmuggeln und darauf die Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung zu definieren; denn die „Ökonomie des Denkens" in der Mathematik darf nicht so weit gehen, dafs man bei neu einzuführenden Gröfsen einfach gar nichts zu denken hat. Inkonsequent ist es ferner, den Kraftbegriff aus der Mechanik ausmerzen zu wollen und dabei doch den der Masse beizubehalten, da letzterer immerhin ein dynamischer Begriff bleibt, solange man nicht der Mechanik Hypothesen über die „Menge der Materie" zu Grunde legen will.

Mathematiker und Philosophen wetteifern neuerdings, um den Kraftbegriff aus der Mechanik zu verdrängen. Der Mathematiker Clifford sagt (Jahrb. d. Erf. XVI, S. 100): „Alles, was wir in bezug auf Kraft und Bewegung wissen, ist dies, dafs bei einer gewissen Gruppierung der umgebenden Körper eine gewisse Änderung in der Bewegung eines Körpers vor sich geht. Nun ist es üblich zu sagen, diese Gruppierung erzeuge eine Kraft, und diese sei es, welche die Änderung der Bewegung hervorbringt. Wozu aber überhaupt dieses Zwischenglied? Warum gehen wir nicht auf einmal von den Umständen der Umgebung zu der aus ihnen folgenden Bewegungsänderung? Wenn wir uns hieran gewöhnen, — so wird der Begriff der Kraft aufhören nötig zu sein und gleich andern nutzlosen Begriffen allmählich der Vergessenheit anheimfallen." Der Philosoph Taine (Verstand I, S. 275) definiert: „Die Kraft ist diejenige Eigenschaft einer Thatsache, deren Bedingung es ist, dafs ihr stets eine andere Thatsache folgt. Durch die Abstraktion isoliert und durch ein Nomen substantivum bezeichnet, wird sie zu etwas Bleibendem, zu einer Substanz; aber sie wird es nur für die Bequemlichkeit der Redeweise, und will man mehr aus ihr machen, so geschieht es nur vermittelst einer metaphysischen Illusion." Wie wertvoll eine solche Abstraktion, welche uns gestattet, eine Menge von Umständen unberücksichtigt zu lassen, für die Mathematik ist, zeigt jede Definition in letzterer; denn sie alle sind solche Abstraktionen. Bevor wir

*) Die elektrische Masse wird immer obigem Massenbegriff entsprechend definiert (Wüllner, Komp. d. Phys. II, S. 310), nämlich als Ursache einer Wirkung in einem anderen Körper; hier wird in der That durch die elektrische Masse das Beharrungsvermögen eines Körpers nicht vermehrt. Dafs diese Masse eben auch nur der Ausdruck für eine Kraft ist, zeigt sich auch in dem Gegensatz des Positiven und Negativen, welcher als Richtungsgegensatz nur bei Kräften und Bewegungen denkbar ist. Vgl. auch Schell, Mech., 1. Aufl., S. 487, wo Bewegungen zur Erläuterung des Massenbegriffs benützt werden.

diese Analogie zwischen dem Kraftbegriff und anderen Begriffen der Mathematik näher ins Auge fassen, wollen wir nur bemerken, dafs wir zuerst und ursprünglich von der Kraft durch unser Gefühl belehrt werden, und hier gehört denn die Kraft auch im Sinne Taines zu den „Thatsachen". Dafs wir uns nun mit unserer Empfindung auch gewissermafsen zwischen Ursache und Wirkung äufserer Vorgänge eindrängen und diese hiernach bemessen, das rechtfertigt sich eben dadurch, dafs hier wie überall „der Mensch das Mafs der Dinge" ist. Treten ihm irgendwie Wahrnehmungen entgegen, die dem Grade nach verschieden und mefsbar sind, wie die Gewichte, so kann er nimmermehr darauf verzichten, diese Gröfsen zu messen und zu vergleichen. Etwas das unserem Gefühle aktiver Kraft entspricht, werden wir zwar der Natur nicht unterlegen; aber überall werden wir ihre Wirkungen vergleichen und messen mit denjenigen Wirkungen, welche als Druck oder Stofs in den Bereich unserer Wahrnehmungen gelangen.

Der Wert und die Brauchbarkeit der Definitionen beruht nach Stuart Mill auf der Überzeugung, dafs die Dinge wirklich existieren, welche die in der Definition angegebene Verbindung von Attributen besitzen; „dieser Annahme realer Existenz überlassen wir immer den beabsichtigten Eindruck, wenn wir einen Namen definieren, von dem bereits bekannt ist, dafs er der Name eines wirklich existierenden Dinges ist." Andererseits hebt Mill hervor, dafs weder in der Natur, noch in unserem Geiste die Gegenstände existieren, welche den Definitionen der Mathematik genau entsprechen; „die Definitionen bestehen aus Urteilen, in denen wir von einem Gegenstand eine Eigenschaft oder mehrere behaupten, die ihnen der Erfahrung nach angehören, während wir zugleich verneinen, dafs er irgend eine andere Eigenschaft besitzt, obgleich jene erstere Eigenschaft immer von anderen begleitet ist und meistens modifiziert wird." Ferner ist mit den mathematischen Begriffen eine gewisse Konstruktionsfähigkeit verbunden: innerhalb eines wenn auch beschränkten Bereiches sind wir fähig für die betreffenden Gröfsen reelle Substitutionen auszuführen, an welchen wir durch Anschauung eine sichere Einsicht in die Beziehungen jener Gröfsen gewinnen, die wir dann auf weitere Kreise übertragen können. — In den drei genannten Punkten liegt die Übereinstimmung des Kraftbegriffs mit den geometrischen Begriffen Linie und Fläche zu Tage. Wie diese ursprünglich als Grenzen zwischen geometrischen Gebilden höherer Ordnung sich einschieben, so wird die Kraft zwischen die Bewegung des einen und des anderen Körpers eingeschaltet. Wie jene geometrischen Gebilde aber bald selbständig aufgefafst den Gegenstand der Geometrie bilden, so erwächst aus den Kräften als dem Bewegungsbestreben, ganz abgesehen von den verursachenden Umständen und dem Erfolge, die Statik als ein Kapitel der Mechanik. Wie jene geometrischen Gebilde in einer ihrer Definition entsprechenden Reinheit nie, namentlich aber nicht isoliert vorkommen, so beobachten wir auch nirgends die Entstehung einer Kraft ohne irgend welche verursachende Veränderung. Wir vernachlässigen bei der Linie ihre Dimensionen in Breite und Dicke, bei der Kraft ihre Veranlassung aus irgend welchen Bewegungen, ja selbst die aus ihr folgende Bewegung. Wie wir auf beschränktem Raume im stande sind uns Linien und Flächen zu entwerfen, so vermögen wir auch soweit mit Kräften zu experimentieren, um zu den Fundamentalbeziehungen zu gelangen (wie zu dem Satze von der Zusammensetzung der Kräfte), von welchen wir alsdann in deduktiver Weise weiter gehen können.

Die Versuche, statt die Kraft als ein Mafs für irgend welche Ursachen der Bewegungsänderungen gelten zu lassen, sie als Produkt von Masse und Beschleunigung zu definieren, scheitern an der Definition von Masse selbst. Clifford glaubt über diese Schwierigkeit durch die Bemer-

kung hinwegzukommen, die Massen der Körper würden durch die Gewichte an einerlei Ort bestimmt. In der That erkennen wir aber im Gewicht zunächst eine Kraft, und der Massenbegriff ist aus diesem Begriff abgeleitet. Eine neue Aussicht für das Überflüssigwerden des Kraftbegriffs eröffnet uns Mach durch den Gedanken, dereinst „direkt die Abhängigkeit der Lagen der Körper voneinander zu erkennen“ (Mech., S. 238), nämlich wenn „an Stelle der Elementargesetze, welche die gegenwärtige Mechanik ausmachen, einmal Integralgesetze treten.“ Versuchen wir, in diese Zukunft vorausgreifend, für den einfachsten Fall, da es sich um die Lage zweier Punkte im Abstand r voneinander handelt, die Sache nach dieser Vorschrift vom Ende her in Angriff zu nehmen, indem wir von der als Potential bezeichneten Gröfse ausgehen: $U = \frac{m_1 m_2 f}{r}$, so sind hier schon die Faktoren m_1 und m_2 dynamische Gröfsen, welche der Deutung bedürfen, und soll nun der Differentialquotient $\frac{dU}{dr} = -\frac{m_1 m_2 f}{r^2}$ ohne weiteres mit dem Namen Kraft bezeichnet werden, so kommen wir auch von da nicht weiter zurück zur Beschleunigung, wenn wir nicht zugleich annehmen, diese Kraft werde in einem der beiden Körper durch $m_1 \frac{d^2 r}{dt^2}$, im andern durch $m_2 \frac{d^2 r}{dt^2}$ dargestellt; erst dann bleibt uns die rein kinematische Formel übrig: $\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{m_2 f}{r^2}$ bezw. $= -\frac{m_1 f}{r^2}$.

Analytiker der Mechanik mögen leichten Herzens über eine genauere Bestimmung der Fundamentalbegriffe hinweggehen; wem aber die Aufgabe obliegt, sich mit den Elementen zu befassen, wird sich aufs genaueste mit ihnen auseinandersetzen müssen. Nur ein von jeder hypothetischen Unterlage befreiter und der Erfahrung entsprechender Massenbegriff kann in einer rationellen Mechanik, welche den Anspruch erhebt, „die Bewegungen in der Natur zu beschreiben,“ gebraucht werden. Da die Masse nicht als blofs räumliche Gröfse aufgefafst werden kann, so bleibt nur die Möglichkeit einer dynamischen Definition derselben; diese mufs gemäfs unserem Motto in ihrer Einfachheit und Selbstverständlichkeit den Stempel der Wahrheit tragen.

Inhalt.

I. Kinematik der Schwere.

Seite.
§ 1. Die Fallbewegung, das erste Beispiel gleichförmig beschleunigter Bewegung 4
§ 2. Die Wurfbewegung als erstes Beispiel der Zusammensetzung von Bewegungen 7
§ 3. Der Fall auf schiefer Bahn und die Pendelbewegung als erste Beispiele unfreier Bewegungen 10
§ 4. Die Zentralbeschleunigungen der Weltkörper 13
§ 5. Gegenseitige Beschleunigungen zwischen allen Körpern 17

II. Dynamik der Schwere.

§ 6. Das Beharrungsgesetz, eine Folgerung aus der Bewegung ohne Fallbeschleunigung 21
§ 7. Das Gewicht als beschleunigende Kraft 24
§ 8. Das Gewicht als bewegte Masse 27
§ 9. Die Veränderlichkeit der Schwerkraft und Unveränderlichkeit der Masse 32
§ 10. Die Intensität der Gravitationsbeschleunigung als Mafs der Masse 34
Kraft und Masse in der theoretischen Mechanik 38

kung hinwegzukommen, die I[illegible] Gewichte an einerlei Ort bestimmt. In der That erkenn[illegible] Kraft, und der Massenbegriff ist aus diesem Begriff abgelei[illegible]flüssigwerden des Kraftbegriffs eröffnet uns Mach durch den [illegible]gigkeit der Lagen der Körper voneinander zu erkennen" (M[illegible] der Elementargesetze, welche die gegenwärtige Mechanik a[illegible]en." Versuchen wir, in diese Zukunft vorausgreifend, für d[illegible] Lage zweier Punkte im Abstand r voneinander handelt, [illegible] vom Ende her in Angriff zu nehmen, indem wir von der [illegible]gehen: $U = \frac{m_1 m_2 f}{r}$, so sind hier schon die Faktoren m_1 u[illegible]r Deutung bedürfen, und soll nun der Differentialquotient $\frac{d l}{d}$[illegible] Namen Kraft bezeichnet werden, so kommen wir auch von [illegible]igung, wenn wir nicht zugleich annehmen, diese Kraft werde [illegible] $\frac{d^2 r}{dt^2}$, im andern durch $m_2 \frac{d^2 r}{dt^2}$ dargestellt; erst dann bleibt un[illegible] $\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{m_2 f}{r^2}$ bezw. $= -\frac{m_1 f}{r^2}$.

Analytiker der Mecha[illegible]he genauere Bestimmung der Fundamentalbegriffe hinweggel[illegible] sich mit den Elementen zu befassen, wird sich aufs genau[illegible]sen. Nur ein von jeder hypothetischen Unterlage befreiter u[illegible]senbegriff kann in einer rationellen Mechanik, welche den [illegible]n der Natur zu beschreiben," gebraucht werden. Da die M[illegible] aufgefafst werden kann, so bleibt nur die Möglichkeit ei[illegible]; diese mufs gemäfs unserem Motto in ihrer Einfachheit un[illegible]der Wahrheit tragen.

Seite.

§ 1. Die Fallbewegung, das erste I[illegible]g 4
§ 2. Die Wurfbewegung als erstes [illegible]ngen 7
§ 3. Der Fall auf schiefer Bahn u[illegible]nfreier Bewegungen 10
§ 4. Die Zentralbeschleunigungen [illegible] 13
§ 5. Gegenseitige Beschleunigunge[illegible] 17

§ 6. Das Beharrungsgesetz, eine Fo[illegible]unigung 21
§ 7. Das Gewicht als beschleunigen[illegible] 24
§ 8. Das Gewicht als bewegte Mas[illegible] 27
§ 9. Die Veränderlichkeit der Schw[illegible] 32
§ 10. Die Intensität der Gravitations[illegible] 34
Kraft und Masse in der theore[illegible] 38

TIFFEN Gray Scale
© The Tiffen Company, 2007