Zeitschrift: Jahrbuch der Sekundarlehrerkonferenz des Kantons Zürich

Herausgeber: Sekundarlehrerkonferenz des Kantons Zürich

Band: - (1928)

Anhang: Thurg. Sekundarlehrerkonferenz : Beiträge zur Konferenzarbeit

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Thurg. Sekundarlehrerkonferenz

Beiträge zur Konferenzarbeit

Heft III

1928

Buchdruckerei K. Hauser, Amriswil
1928

An unsere Mitglieder!

Etwas verspätet erhalten Sie hiermit Heft III unserer „Beiträge zur Konferenzarbeit"; wir hoffen, es werde wie die frühern Hefte Ihren Beifall und Ihr Interesse finden. Die Verhältnisse haben es leider mit sich gebracht, daß der Inhalt etwas stark nach der naturwissenschaftlichen Seite hin orientiert ist; doch mag das für die „Sprachler" einen Anreiz bilden, ein nächstes Jahr nicht mehr hinter den Naturwissenschaftlern zurückstehen zu wollen.

Kollege List macht in einer interessanten Studie den Versuch, auf seinem Spezialgebiet die Wechselwirkung und die Einheit der Naturkräfte zu zeigen; die Bedeutung dieser Arbeit und die Feinheit der streng logischen Gedankenführung werden sich allerdings erst bei wiederholter Lektüre voll erschließen.

In dem schönen Aufsatz des Kollegen Geiger spricht der treffliche Kenner der Mineralogie zu uns, welcher mit Liebe und Begeisterung einen Gegenstand behandelt, der sonst wenig Pflege findet. Auch der tote Boden, auf dem wir leben, ist ein Stück der Heimat, und die Steine zum Reden zu bringen, ist ein Teil pädagogischer Kunst, die jeder Lehrer besitzen sollte.

Unterrichtsskizzen sind immer willkommen, und wenn eine solche aus der Praxis eines Fachkundigen, wie des Kollegen Fröhlich, stammt, so darf sie von vorneherein der Beachtung aller sicher sein.

Freudig werden Sie es begrüßen, daß wir wieder dank dem Entgegenkommen unserer lieben Freunde im Kanton Zürich dem Heft zwei wertvolle Arbeiten dortiger Kollegen mitgeben können, wodurch zugleich die oben erwähnte Einseitigkeit unserer Beiträge in glücklicher Weise ausgeglichen wird. Wir haben auch versucht, mit der Schwesterkonferenz St. Gallen in Austauschverkehr zu treten, doch hat der tragische Tod ihres auch von uns hochgeschätzten Präsidenten, des Herrn E. Hausknecht, die Fäden jäh zerrissen; wir wollen sie wieder knüpfen, sobald die Umstände es gestatten.

Der Vorstand.

Inhalt des Heftes:

A. List: Zur Problemphysik.
E. Geiger: Von den Steinen.
W. Fröhlich: Das Auge als optischer Apparat.
H. Aebli: Bemerkungen zum Geschichtsunterricht.
Beilagen: *H. Meier:* Satzzeichenlehre in der Sekundarschule.
E. Letsch: Wesen, Ziele und Gestaltung des geogr. Unterrichts.

Vorstand der Konferenz:

Präsident: *H. Aebli,* Amriswil.
Aktuar: *H. Fuchs,* Romanshorn.
Kassier: *U. Greuter,* Berg.

Zur Problemphysik.

Von *A. List,* Birwinken.

I.

1. Im Iahre 1820 machte der dänische Physiker Oersted, (1777-1851) Professor in Kopenhagen, bei Gelegenheit seiner Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus die Entdeckung, daß die nordweisende Spitze einer frei aufgehängten Magnetnadel, über welcher ein galvanischer Strom in der Richtung Süd-Nord floß, nach Westen abgelenkt wurde.

Die ganz unerwartete Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus war für die Zeitgenossen Oersteds das Auffälligste der Erscheinung. Bis zu diesem Zeitpunkte hatte man den Magnetismus als die abgeschlossenste der physikalischen Disziplinen betrachtet und zur Erklärung seiner Attraktions- und Repulsivkräfte zwei oder drei magnetische Flüssigkeiten konstruiert. Dies war in Uebereinstimmung mit der Ansicht erfolgt, daß für die verschiedenen an- und abstossenden Kräfte auch verschiedene Materien notwendig wären, da nach dem uralten Problem von Kraft und Stoff jede Veränderung einen unveränderten Träger der Veränderung voraussetzt. In einer Zeit, wo die Zahl der Elemente zusehends wuchs, empfanden die Gelehrten keine Bedenken, noch weitere imponderable Flüssigkeiten zu erfinden. So kannte man am Anfang des 19. Jahrhunderts 8 Imponderabilien, an deren reeller Existenz wohl niemand zweifelte. Nun forderte aber die neue Entdeckung die Elimination der magnetischen Imponderabilien, da der Zusammenhang der beiden Kräfte, der Elektrizität und des Magnetismus, mit der Existenz unwandelbarer elementarer Materien

unvereinbar war, und führte so logischerweise zum Zusammenbruch der damals herrschenden Betrachtungsweise auch auf andern physikalischen Gebieten. Die allgemeine Aufmerksamkeit der Forscher richtete sich von nun an auf die wechselseitige Transformation der Naturkräfte, die dann in der Festlegung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie die Krönung fand.

Die Bedeutung der neuen Entdeckung zeigte sich im weiteren Verlaufe der wissenschaftlichen Fortschritte in der großen Fruchtbarkeit der Probleme, die sich auf Grund des Oersted'schen Fundamentalversuches stellen liessen. Sie dürften auch für die Schulphysik wegleitend sein.

Um in das neue Gebiet der Elektrodynamik einzuführen, erhebt sich für den Unterricht die Frage: Kann der Zusammenhang zwischen den beiden Gebieten, Elektrizität und Magnetismus, durch ein logisch weiterschreitendes Denken, dem eine „Entdeckung" als Forschungsaufgabe vorliegt, aufgedeckt werden? Kann auf Grund des vorgängig behandelten Stoffes in der Elektrostatik und Magnetostatik das Problem der Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Kräfte in Angriff genommen werden?

Im Unterrichte werden in den weitaus meisten Fällen die beiden Disziplinen getrennt behandelt. Der Grund zu einem solchen Gedankengang ist wohl in dem methodischen Bestreben zu suchen, auf unserer Schulstufe die wichtigsten elektrischen und magnetischen Eigenschaften in aller Einfachheit auf das Tatsächliche zu untersuchen, umso mehr, als durch das Fehlen spezifischer Sinnesorgane für diese Erscheinungen die Arbeit des Lehrers ohnehin erschwert ist. Ein weiterer Grund zu dem erwähnten Vorgehen liegt in der geschichtlichen Entwicklung der beiden Gebiete.

Manche Analogien zwischen Elektrizität und Magnetismus könnten zwar auch bei dieser streng geschlossenen Betrachtungsweise vermuten lassen, daß zwischen den beiden Gebieten ein innerer Zusammenhang bestünde. Auf unserer Schulstufe kämen hier aber höchstens die entgegengesetzten Polaritäten, die Attraktions- und Repulsivkräfte in Frage, die auf eine Verwandtschaft hindeuten könnten. Hiebei scheint aber der Hinweis

nicht unangebracht, daß der Schluß aus der Analogie logisch nicht berechtigt ist; die an die Analogie geknüpfte Erwartung ist nur in unserer Auffassung von den Dingen begründet.

Allein auch jener vermutete innere Zusammenhang zwischen den beiden Gebieten ließe noch nicht die Möglichkeit zu, durch eine planmäßige Problemstellung die Anordnung zu jenem Fundamentalversuch zu treffen. Das zeigt schon Oersteds vergebliches Bemühen bei Versuchen mit der offenen galvanischen Kette. Da auf Grund des behandelten Stoffes dynamische Zustände der statischen Elektrizität nicht bekannt sind, kann man auch nicht auf eine Versuchsanordnung schließen, in welcher ein dynamischer elektrischer Zustand auf einen statischen magnetischen Zustand einwirkt.

So wird für den Unterricht der nächstliegende gangbare Weg zur Eröffnung der Elektrodynamik der sein, an den erwähnten Versuch Oersteds anzuschließen. Man verwende ein Zink-Kupferelement, führe den an das Kufper angeschlossenen Poldraht in der Süd-Nordrichtung über eine freie bewegliche Magnetnadel und zurück zum Zinkpol, sodaß eine geschlossene Kette vorhanden ist.

Ein vorerst unmotivitierter Schauversuch führt damit eine Tatsache vor, die einst dem Forscher durch einen Zufall in die Hände gespielt wurde. Wenn bis anhin im Unterrichte magnetische und elektrische Eigenschaften der Wahrnehmung nach scheinbar unabhängig auftraten, so bringt das Experiment einen neuen Einblick in den Zusammenhang der Naturkräfte. Es eröffnet sich damit eine neue physikalische Welt, in welcher sie in unlösbarer Verbindung stehen.

2. Nach dem ersten Versuche liegt es nahe, die verschiedenen gegenseitigen Lagen von Magnetnadel und Leiterdraht, der die Pole eines Kupfer-Zinkelementes verbindet, zu untersuchen, um alle Ergebnisse durch eine beherrschende Idee zusammenzufassen.

Bei sonst gleicher Anordnung führt man den Poldraht *unter* der Magnetnadel vorbei. Es erfolgt dabei ein Ausschlag der nordweisenden Spitze nach Osten, also nach der entgegengesetzten Richtung wie im ersten Versuche. Natürlich wird man

im Experimentalunterricht darnach trachten, bei den verschiedenen möglichen Lagen die in Frage kommenden Richtungen auf weitere Entfernung hin sichtbar zu machen. Der magnetische Meridian werde durch einen gespannten Faden oder durch eine Linie auf dem Experimentiertische sichtbar gemacht. Die Richtung der *nordweisenden* Spitze der Nadel wird durch ein *rotes*, die *südweisende* Spitze durch ein *grünes* Holundermarkkügelchen gekennzeichnet.

3. Da aus der Elektrostatik bekannt ist, daß die beiden Pole eines Elementes entgegengesetzte Eigenschaften aufweisen, wenn man sie mit den Belegen eines Kondensators in Berührung bringt, wird man einen Polwechsel vornehmen. Die Nadel schlägt alsdann nach der entgegengesetzten Seite aus.

Aus der Behandlung der magnetischen Eigenschaften ist bekannt, daß eine Magnetnadel durch ein sie umgebendes Magnetfeld beeinflußt wird. Aus der Ablenkung der Nadel schließen wir auf ein Magnetfeld, das vom geschlossenen Poldraht ausgeht und gerichtet ist. Dieses Magnetfeld sucht nun offenbar die Nadel in seine Kraftlinien zu stellen.

Die merkwürdigen Zustandsänderungen, die vom Leiterdrahte ausgehen, rufen einem physikalischen Begriff, der sich schon aus einer kleinen Erfahrungsgruppe durch Nachdenken ergibt. Es entspricht einem ökonomischen Bedürfnis, auf eine einfache Art das vorhandene Tatsachenmaterial anschaulich zu beschreiben und es also zu bewältigen, daß wir auch Erscheinungen voraussehen und beherrschen können, ohne den Anspruch dabei erheben zu wollen, damit die Realität der Dinge bezeichnen zu wollen. „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußern Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Uebereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserm Geiste. Die Erfahrung lehrt, daß die Forderung erfüllbar ist und daß solche Uebereinstimmungen in der Tat bestehen.“

Die anhaltende Wirkung des Poldrahtes auf die Magnetnadel deutet auf einen anhaltenden Zustand im Drahte, welcher

nicht mehr vorhanden ist, wenn der Draht mit dem Element nicht eine geschlossene Kette bildet. Um uns in obig angedeutetem Sinne von Hertz das Unbekannte, das sich im Drahte abspielt, unserer Vorstellung näher zu bringen, denken wir uns, daß sich im Drahte Elektrizität dauernd bewege, etwa wie Wasser in einer Wasserleitung. Auf Grund dieses uns zurechtgelegten Bildes sagen wir, im Drahte fließe ein elektrischer Strom.

Es ist klar, daß mit diesem Satze vorerst über die Natur des elektrischen Stromes wie über gewisse Eigenschaften nichts ausgesagt wird. Die Einführung des Begriffes „Strom“ soll bei umfassenden Beschreibungen in erster Linie schwerfällige Ausdrücke, wie etwa „Zustandsänderungen, die durch eine ganz bestimmte experimentelle Anordnung hervorgerufen werden“, eliminieren. Im weiteren sollen freilich unsere groben Vorstellungen, die wir von den Dingen machen, zum Ausdruck kommen, um den Vorgängen, die unseren Sinnen entzogen sind, mit mechanischen Hilfsvorstellungen näher zu kommen.

Wie jedem Wasserstrome eine ganz bestimmte Richtung innewohnt, so legt auch der Versuch dar, daß dem elektrischen Zustand des Poldrahtes ebenfalls eine ganz bestimmte Richtung zukommt, womit das Bild, das wir uns über die innern Vorgänge machten, hierin im Sinne von Hertz richtig und logisch zulässig ist. Da die beiden Richtungen als gleichwertig erscheinen, ist man übereingekommen, die Richtung vom positiven Kupfer zum negativen Zink als die positive Richtung des Stromes zu wählen. An diese Konvention wird gelegentlich, z. B. bei der Behandlung der Elektrolyse, erinnert werden müssen.

An den leichtverständlichen Ausdruck, bezw. an das anschauliche Bild vom Strome können wir die Forderung stellen, daß die Verfolgung dieses Begriffes oder Bildes neue Schlußfolgerungen zulasse. So sei für die Entwicklung des Strombegriffes darauf hingewiesen, daß im Begriff „elektrischer Strom“ auch der Begriff der kinetischen Energie enthalten ist. Wir haben es hier mit einer tiefer schürfenden Analogie zu tun, da sie den Energieumsatz im Drahte mit der im Wasserstrom geleisteten mechanischen Arbeit verknüpft.

Nach der gaskinetischen Theorie der Elektrizitätsleitung in Metallen besteht der elektrische Strom in einer Wanderung von Elektronen längs des Drahtes. Vom realistischen Standpunkt aus wird man offenbar sagen dürfen, daß die rein formale Analogie in die Identität übergegangen ist. Es will nun scheinen, daß sich der Unterricht nicht mehr mit dem vorhin erwähnten „bildhaften“ Standpunkt begnügen will. Um modern zu sein, wird gerade hier die völlige Uebereinstimmung des Wasserstromes mit dem elektrischen dargelegt, wo eben die atomistisch geteilte Elektrizität die Strömung verursacht. Damit rückt die Vorstellungswelt der Forscher ganz unvermittelt in den Ideenkreis der Schüler. Schon aus diesem Grunde ist ein derartiges Vorgehen und ein weiteres Operieren mit den Elektronen vom Standpunkt der Problemphysik zu verwerfen. Dazu kommt noch die ganz unrichtige Vorstellung, durch populäre Schriften nur allzusehr verbreitet, daß diese Elektronen mit ganz unheimlichen Geschwindigkeiten durch den Draht fliegen sollen, indes die gaskinetische Theorie der Metalle, die heute trotz ihrer Einfachheit und Eleganz der Gittertheorie zu weichen scheint, den Leitungselektronen in der Richtung der elektrischen Kraft nur ein Schneckentempo zuschreiben kann. Offenbar findet eine Verwechslung mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrischen Feldes statt oder man identifiziert fälschlicherweise die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen des Elektronengases mit der Geschwindigkeitskomponente in der entgegengesetzten Richtung der elektrischen Kraft, die allein für die Elektrizitätsübertragung, resp. Strömung in Frage kommt.

Besieht man nun alle weiteren Versuchsergebnisse unter jener alle Fälle umfassenden Idee vom elektrischen Strome, so darf hier nicht verschwiegen werden, daß mit dem Namen „elektrischer Strom“ nach dem Vorschlage Ampères der Poldraht als der Träger der elektrodynamischen Vorgänge erscheint. Die Voraussetzung, daß in ihm eben die unmittelbare Ursache der erwähnten Erscheinungen liege, machen ihn damit zum Kanal der bewegten elektrischen Materie. Eine derartige Auffassung ist aber dahin zu korrigieren, daß die elektromagnetischen Vorgänge auch den Raum, der den Leiter umgibt, erfüllen. Ja, gerade diese Vorstellung, daß der luftleere Raum als das Medium

aufzufassen ist, das als Sitz der elektrischen und magnetischen Kräfte diese weiter vermittelt, ermöglicht es, einen klaren Einblick in Zusammenhänge zu gewinnen, die sich uns sonst nicht offenbaren würden.

4. Die Reproduktion des Oersted'schen Versuches in Abschnitt 1 bringt aber noch eine andere, sehr auffällige Erscheinung in den Vordergrund des Interesses. Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die Kraft, mit welcher zwei Massenpunkte einander anziehen, längs der Verbindungsgeraden beider Massenpunkte gerichtet. Auch die elektrischen und magnetischen Attraktions- und Repulsivkräfte wirken in der Verbindungslinie der elektrisch geladenen oder magnetischen Punkte. Die Oersted'sche Entdeckung aber zeigt, daß sich die elektromagnetische Kraft diesen früher berührten Tatsachen nicht unterordnet, daß sie also weder anziehend noch abstoßend wirkt. Ich habe zwar schon Physikbücher zur Hand gehabt, die das Seltsame, Ungewohnte der neuen Naturkraft offenbar nicht kannten, es durch einen Nominalismus verschleierten, indem sie kurzerhand statt des Wortes „ablenken" den in der Elektrostatik und Magnetostatik üblichen, auf einer Voraussetzung beruhenden Ausdruck „abstoßen" gebrauchten!

Für den Beobachter handelt es sich darum, die Richtung der ablenkenden strommagnetischen Kraft festzustellen. Hiebei liegt es am nächsten, vom Versuch unter Abschnitt 1 ausgehend, den Leiter in den verschiedensten Richtungen in der gleichen Horizontalebene über oder unter der Magnetnadel zu leiten, was ja am einfachsten durch Drehung des Leiterstückes erreicht wird. Man wird bei Stromschluß in den verschiedenen Stellungen bemerken, daß die Ablenkung der Nadel am größten ist, wenn der Leiter im magnetischen Meridian liegt. Steht das Leiterstück senkrecht hiezu, so findet keine Ablenkung statt. In den Zwischenlagen erreicht der Drehwinkel Werte, die innerhalb der extremen Werte liegen.

Daraus schließt man, daß sich die magnetische Achse der Nadel senkrecht zur Stromrichtung zu stellen sucht, da sie in dieser Stellung keine weitere Drehung mehr erfährt. Da das magnetische Erdfeld allein die Magnetnadel in den magnetischen Meridian stellt, nimmt sie unter gleichzeitiger Einwirkung des

strommagnetischen Feldes eine der beobachteten Zwischenlagen ein, gemäß der Zusammensetzung der Kräfte nach dem Parallelogrammsatz.

5. Das Wesentliche der elektrodynamischen Kraft liegt also darin, daß sie senkrecht zur Ebene steht, die durch den geraden Stromleiter und den Pol gebildet wird und so eine Drehung bewirkt. Sie ist eine Transversalkraft. Stromleiter, Verbindungsgerade von Stromleiter und Pol, sowie die magnetische Feldstärke stehen paarweise senkrecht aufeinander und lassen erkennen, daß die elektrodynamischen Wirkungen mit der Struktur unseres konventionellen euklidischen Raumes zusammenhangen, die Natur selber durch ihre Größen ein rechtwinkliges Koordinatensystem kennt.

Zur Illustration der höchst eigenartigen Transversalkraft hänge man einen Magnetstab in vertikaler Lage, mit dem Nordpol nach unten, an einer hydrostatischen Wage auf und tariere. Die Aufhängevorrichtung ermöglicht eine Verschiebung des Magneten längs seiner Achse. Bringt man einen stromdurchflossenen Leiter in wagrechte Lage, Richtung des Stromes vom Beschauer weg, links neben den Nordpol, so senkt sich der Hebelarm mit dem Magneten, ein sinnfälliger Beweis für die Transversalität der elektrodynamischen Kraft.

6. In den Versuchen unter Abschnitt 1 und 2 wurde der Leiter parallel unter und über der Magnetnadel geführt. Als eine weitere Lagenkombination wähle man die beiden Fälle, bei welchen der Leiter links und rechts neben die Nadel zu liegen kommt, also in der Schwingungsebene der Deklinationsnadel liegt. Die Stromrichtung sei diejenige der Richtung Süd-Nord.

In diesen beiden Lagen findet keine Ablenkung statt, dagegen beobachtet man in der Stellung des Leiterstückes links von der Nadel ein Neigen der nordweisenden Spitze, in der gegensätzlichen Stellung rechts von der Nadel ein deutliches Aufkippen des Nordpoles.

Ganz im Sinne des Begriffes vom elektromagnetischen Felde mit seiner Darstellung durch Vektoren und Kraftlinien liegt es, wenn man auf Grund der Versuche in Abschnitt 1, 2 und 6 die Beobachtungen einer einheitlichen Idee unterwirft, daß der elektrische Strom einen Wirbel um den Leitungsdraht

beschreibt, dessen Eigentümlichkeit ja darin besteht, daß die Kräfte an den Enden seines Durchmessers in entgegengesetztem Sinne wirken. Eine entsprechende Zeichnung für die Kraftrichtung des Stromes auf den Nordpol der Nadel für jeden einzelnen Versuch erleichtert in hohem Maße das Verständnis für die erwähnten Tatsachen.

Im magnetischen Wirbel haben wir eine rein formale Analogie vor uns, welche wieder eine anschauliche und leicht faßbare Ausdrucksweise gestattet. Sie liegt auch deshalb recht nahe, weil die mathematische Formulierung der Flüssigkeitsströmung identisch ist mit der des magnetischen Feldes eines Stromes.

Im Kraftlinienverlauf in geschlossenen Linien im Raume um den Stromleiter zeigt sich ein neuer Typus eines Kraftlinienfeldes, der von dem der Elektrostatik und Magnetostatik ganz verschieden ist. Die elektrischen Kraftlinien haben ihren Ursprung in Elektrizitätsmengen und endigen wieder in solchen. Die magnetischen Kraftlinien können nur durch die Masse des Magneten als geschlossene Linien gedacht werden. In beiden Fällen wird beim Herumführen einer elektrischen Ladung oder eines Magnetpoles längs einer geschlossenen Linie keine Arbeit geleistet. Beim elektromagnetischen Felde aber verlaufen die Kraftlinien frei geschlossen in einem homogenen Raume, wobei schon aus den gemachten Beobachtungen zu schließen ist, daß die Arbeit, die beim Herumführen eines Magnetpoles um eine geschlossene, den Stromleiter umschlingende Kurve gewonnen wird, nicht Null sein kann.

Die magnetischen Kraftlinien und damit die Wirbel des Magnetfeldes ergeben sich aus dem Oersted'schen Versuche schon durch Symmetriebetrachtungen. Man denke sich eine Ebene gelegt, welche das Leiterelement, den Quellpunkt, und den Magnetpol, den Aufpunkt, enthält. Die Richtung der magnetischen Kraft steht alsdann laut Versuch senkrecht auf dieser Ebene. Stellen wir uns vor, jene Ebene mit dem Aufpunkt werde um das Leiterelement gedreht, so erkennen wir leicht, daß die Kraftlinien Kreise mit dem Leiterelement als Zentrum sein müssen. Eine weitere Betrachtung wird auch ergeben, daß die Wirbelräume des strommagnetischen Feldes

und die Kraftlinien einander ringförmig umschließen wie die Glieder einer Kette. Eine Veranschaulichung durch ein Modell wird die anscheinend schwierige Sache leicht faßlich machen und damit zur Stärkung des Raumvorstellungsvermögens beitragen.

7. Aus der Tatsache, daß die magnetischen Kraftlinien eines stromführenden Leiters diesen als geschlossene Kurven umschließen, folgt, daß ein frei beweglicher Magnetpol in einem derartigen Felde dauernd um den Strom rotieren muß. Eine Versuchsanordnung zur Demonstration einer solchen Rotation scheint indes nicht möglich zu sein, da sie die Isolierung eines Magneten verlangt, die beiden Polaritäten sich aber nicht trennen lassen.

Indessen wird eine allseitige Ueberlegung nicht bloß den Magneten an und für sich, sondern auch dessen Lage zum Stromleiter berücksichtigen. Alsdann wird sich die Möglichkeit ergeben, durch eine zweckmäßige Anordnung einen Magneten so im strommagnetischen Felde anzuordnen, daß sich nur ein Pol im Wirkungsbereiche des Feldes befindet, die Kraftlinien also nur einen Pol umschlingen, wobei freilich der Magnet bei einer Umdrehung die Strombahn schneiden muß.

Man hänge zu diesem Zwecke eine magnetisierte Stricknadel an einem langen Faden so auf, daß sie nur mit ihrem untern Pole in das Feld eines senkrecht stehenden, geraden Leiters kommt. Je nach der Stromrichtung rotiert der Magnet im einen oder andern Drehsinne. Um das Schneiden der Strombahn durch den Magneten zu ermöglichen, stellt man am obern Ende des geraden Leiterteiles einen losen Kontakt her durch bloßes Berühren der stromführenden Teile.

Man könnte hier die Frage stellen, woher der Arbeitsaufwand genommen wird, wenn der Magnetpol dauernd um den Leiterdraht rotiert. Diese Frage mag bei der Behandlung der Größen des Stromkreises untersucht werden.

8. Aus den bisherigen Versuchen zu schließen, verlaufen die magnetischen Kraftlinien in einer Ebene, die senkrecht zum Leiter steht. Diese Erkenntnis bringt die Anregung, den Kraftlinienverlauf ad oculos zu demonstrieren. Nach der in der Magnetostatik üblichen Veranschaulichungsmethode der Kraftlinien

kann leicht eine Versuchsanordnung getroffen werden, welche den Kraftlinienverlauf des elektromagnetischen Feldes sichtbar macht. Eine derartige experimentelle Darstellung hat dazu die weitere, sehr wichtige Bedeutung, daß sie recht anschaulich und eindringlich die Betrachtungsweise der magnetischen und elektrischen Polarisation stärkt, wonach in den Volumenelementen des Eisens wie in der isolierenden Substanz, die sich am Vorgang beteiligt, magnetische oder elektrische Momente auftreten.

Man stecke ein längeres, geradliniges Drahtstück durch einen Kork und lege ein steifes Blatt Papier darauf, auf das man Eisenfeile streut. Nach zweckmäßigem Einspannen in ein Stativ und nach Anschluß des Drahtstückes an eine starke Gleichstromquelle (25—30 Ampère) ordnen sich die Feilspäne in deutlichen Kreisen um den Draht und zeigen so den Verlauf der strommagnetischen Kraft. Das Kraftlinienbild ändert sein Aussehen nicht, wenn man das Blatt längs des Drahtstückes parallel zu seiner Lage verschiebt. Damit ist auch der Nachweis von der Existenz magnetischer Wirbelfelder um den Leiter erbracht.

Um zu zeigen, daß dem strommagnetischen Felde eine Richtung innewohnt, kann man auch um den vorhin senkrecht eingespannten Leiterdraht eine an einem Faden aufgehängte, in einer horizontalen Ebene schwingende, kleine Magnetnadel führen, die in jedem Punkte den Kraftlinienverlauf angibt. Fließt der Strom in umgekehrter Richtung, so weist auch die Magnetnadel mit ihrem Nordpol an derselben Stelle nach der entgegengesetzten Richtung.

Daß eine longitudinale Komponente der elektrischen Kraft, also eine Komponente in der Leiterrichtung, fehlt, läßt sich dadurch veranschaulichen, daß man einen geraden Stromleiter wagrecht über eine mit Eisenfeilspänen bestreute Glasplatte bringt. Bei Stromschluß ordnen sich die Feilspäne senkrecht zur Leiterachse und zeigen damit das Fehlen der longitudinalen Komponente.

Die Voranstellung des Oersted'schen Versuches zur Einführung in das Gebiet der Elektrodynamik ergibt so im Verlaufe einer planmäßig durchgeführten Erarbeitung den Verlauf der magnetischen Kraftlinien in Form geschlossener, kreisrunder Bahnen um den Leiter. Eine Einführung in den Zusammenhang

zwischen Elektrizität und Magnetismus mit einem Experiment, das die vollendete Tatsache des magnetischen Kraftlinienverlaufes vermittelt, scheint mir wenig geeignet, das Augenmerk auf jenes fundamental Neue zu konzentrieren. Zudem wird in dem hier vorgelegten Gedankengang der Forderung nachgelebt, daß der Physikunterricht nach Möglichkeit zu zeigen habe, auf welchen Wegen die physikalischen Erkenntnisse gewonnen wurden. Auf diese Weise gewinnt man auch die richtige Einschätzung der mühevollen Forscherarbeit.

9. Mit der so gewonnenen Einstellung zum Kraftlinienverlauf ergibt sich, daß zwischen Ablenkungsvorrichtung und der Richtung des elektrischen Stromes eine einfache Beziehung besteht, die Ampère in seiner bekannten Schwimmregel zum Ausdruck gebracht hat. Das umständliche Hineindenken des menschlichen Körpers in den Draht hat der bequemeren Rechtenhandregel gerufen: Man lege die rechte Hand so an den stromdurchflossenen Leiter, daß der Strom in der Richtung von der Handwurzel zu den Fingerspitzen fließt, wobei die innere Handfläche der Magnetnadel zugewendet ist. Der Nordpol der Nadel wird alsdann in der Richtung des ausgestreckten Daumens abgelenkt.

Die beiden üblichen Regeln scheinen mir aber nach der vorerwähnten Entwicklung, die zur Vorstellung der magnetischen Wirbel führt, gesucht zu sein, wenn gleich zugegeben werden muß, daß die Rechtehandregel sehr „handlich“ ist und von den Schülern leicht und sicher angewendet wird.

Der Zusammenhang der Kraftlinien mit dem Strome erscheint aber durchsichtiger, wenn man einem gegebenen Fortschreitungssinn einen bestimmten Drehsinn zuordnet. Hier läßt sich an das Bild der Rechtsschraube anknüpfen, das ja auch in der gesamten mathematischen Physik als Grundlage für die konsequente Bestimmung derVorzeichen dient. Uebrigens benötigt man nicht einmal das Anschauungsbild einer Schraube. Man darf sich schon auf das Muskelgefühl berufen, das vom Gebrauche der Schraube, des Bohrers oder des Korkziehers genügend bekannt sein wird.

Einer gegebenen Fortschreitungsrichtung (Stromrichtung) entspricht derjenige Drehsinn (Ablenkungsrichtung), in welchem

eine Rechtsschraube sich beim Eindrehen bewegt. Damit lautet die spezielle Regel:

Der Sinn der auf den Nordpol einwirkenden Kraft entspricht dem Drehsinn einer Rechtsschraube. Diese Regel ist identisch mit der bekannteren Maxwell'schen Uhrzeigerregel: Blickt man in der Richtung des Stromes, so bewegt sich der Nordpol im Sinne des Uhrzeigers.

Mit Hilfe dieser Regel kann der positive oder negative Pol einer Stromquelle ermittelt werden. Man hat dabei nur zu untersuchen, in welcher Richtung eine Rechtsschraube eingedreht werden muß, um den Nordpol der Nadel im Drehsinn abgelenkt zu sehen.

Für die Schülerübungen bietet sich im Anschluß an diese Regel ein willkommenes Feld der Betätigung, sich mit allen möglichen Lagen des Leiterstückes zur Magnetnadel zu befassen und festzustellen, in welchen Lagen die Nadel eine Ablenkung oder keine erfährt. Das Ergebnis kann kurz zusammengefaßt werden: Steht der Poldraht senkrecht über der Nadelmitte, so bleibt die Nadel in der Ruhelage, weil in dieser Stellung die Einwirkung auf die Pole gleich und entgegengesetzt ist. Liegt das Leiterstück in der Schwingungsebene, so erfolgen Hebungen und Senkungen. In allen andern Lagen ist eine ablenkende Wirkung zu registrieren.

Die praktische Auswertung des Oersted'schen Versuches läge in dem Hinweis, daß hier die Anfangsgründe der Telegraphie liegen. Man denke sich für einen jeden Buchstaben einen Leiterdraht zu einer Magnetnadel geführt und von dort durch eine gemeinsame Rückleitung zum Element geschlossen. Am Aufgabeort werde durch einen Taster Stromschluß bewerkstelligt.

Mit diesen Beobachtungen sind die Mittel gegeben, um die schwachen, magnetischen Wirkungen, die in allen erwähnten Versuchen in Erscheinung treten, zu verstärken. Eine einfache Ueberlegung an Hand einer Zeichnung ergibt, daß ein Strom in der Richtung Süd-Nord über der Nadel und ein Strom in der Richtung Nord-Süd unter der Nadel durchgeleitet, eine verstärkte magnetische Wirkung ergeben muß. Eine derartige Anordnung der Leiterteile wird verwirklicht, wenn der Strom

in einer Schlinge über die Nadel geführt wird. Mit Hilfe der Schraubenregel wird die vereinte gleichgerichtete Wirkung der horizontalen und auch der vertikalen Leiter nachgewiesen.

Um die magnetische Kraft des Stromes weiter zu verstärken, führt man den Strom in vielen Windungen um die Magnetnadel. So erhält man einen Multiplikatoren. Hiebei sei bemerkt, daß der Name Multiplikator nicht richtig ist, da, wie man aus einer weiteren, hier nicht berührten Entwicklung ersehen kann, durch Hinzufügen von Drahtlängen der Widerstand größer und damit der Strommagnetismus geschwächt wird. Die verstärkte Wirkung der Multiplikatoren beruht auf der Vermehrung der Drahtschlingen von gleicher Wirkung, die aber eine verminderte magnetische Kraft äußern.

Die Verstärkung der magnetischen Kraft durch Vermehrung der Leiterteile gestattet, die in den Versuchen unter Abschnitt 8 notwendige elektromagnetische Feldstärke herzustellen, wenn eine erhebliche Stromstärke sonst nicht zu beschaffen ist. Man windet den Leiter zu einem Drahtviereck von ca. 25 cm Seitenlänge mit 20—30 Schleifen. Bei einer Stromstärke von ca. 3—4 Ampère ergeben die Leiterteile ein gutes Kraftlinienbild.

11. Beobachtet man bei sonst gleichbleibender Versuchsanordnung verschiedene Ausschläge der Nadel bei Verwendung verschiedener Elemente, so wird man bei weiterer Verfolgung des Bildes, das man sich über die innern Vorgänge im Poldraht gemacht hat, schließen können, daß dem Storm in Anbetracht der verschiedenen Einwirkungen des Leiterdrahtes auch verschiedene Stärke zukommen müsse. Man wird festsetzen:

Die Stromstärke ist umso größer, je stärker die Ablenkung ist. Die Berechtigung dieser Schlußweise wird an passender Stelle darzulegen sein.

Damit hat man sich im Galvanoskop eine Vorrichtuug geschaffen, die einigermaßen die Stromstärke der einzelnen Leiterkreise einschätzen läßt.

Die Beobachtung, daß beim Einschalten verschiedener Drahtlängen in den Stromkreis eines und desselben Elementes der Ausschlag am Galvanoskop mit wachsender Länge abnimmt, läßt auf ein Hemmnis, auf einen Widerstand schließen, der sich

dem Strome entgegensetzt. Sie leitet zu den Strommassen und den Stromgesetzen über, die in vorliegender Arbeit nicht berührt werden.

12. Der Ausschlagswinkel eines Galvanometers wird aber nach früheren Erörterungen nicht bloß von der strommagnetischen Kraft abhängig sein. Er wird noch in erheblichem Maße, namentlich bei Vorhandensein von schwachen Strömen, vom erdmagnetischen Felde beeinflußt. In den früheren Versuchen, beim Herumführen einer Magnetnadel um den Stromleiter, hat sich dessen Einwirkung dadurch bemerkbar gemacht, daß sich die Magnetnadel nicht genau in tangentialer Richtung an einen Kreis, mit dem Leiterstück als Zentrum, stellte. Um den Ausschlag vom Erdfeld unabhängig zu machen, ihn dadurch zu vergrößern und die Vorrichtung zu verfeinern, gilt es, die Wirkung des Erdmagnetismus auf ein Nadelsytsem zu schwächen. Das kann auf verschiedene Weise geschehen.

Da die Wirkung des Erdmagnetismus gemäß dem Coulombschen Gesetze auch von der Polstärke der Nadel herrührt, handelt es sich um eine Vorrichtung mit einem kleinen magnetischen Moment. Dies wird erreicht, indem man zwei beinahe gleich starke, entgegengesetzt gerichtete Magnetnadeln an einem Messingdraht befestigt. Der Erdmagnetismus wirkt dann auf beide Nadeln entgegengesetzt, so daß seine richtende Kraft der Differenz der magnetischen Momente beider Nadeln wird. Mit der Wahl von Nadeln mit beinahe gleichem Moment gelingt es, die von außen her einwirkende Richtkraft des Erdfeldes beinahe aufzuheben. Läßt man das aufgehängte Nadelpaar, astatisches Nadelpaar geheißen, mit der untern Nadel im Hohlraum einer stromdurchflossenen Spule schwingen, so wird die ablenkende Kraft des Stromes weiter verstärkt, da die Drehmomente, welche der Strom auf die beiden Nadeln ausübt, sich addieren. Die Schwingungsdauer des Systems wird dabei groß.

II.

Nach den aus den einzelnen physikalischen Gebieten resultierenden Erfahrungen gilt das von Newton formulierte Gesetz, wonach niemals eine Kraft auf einen Körper allein, sondern stets auf zwei Massen in entgegengesetzter Richtung

wirkt. So zeigte sich in der Lehre vom Magnetismus, daß die Anziehung zwischen Magnete und weichem Eisen eine wechselseitige ist. Auch zwischen elektrisch geladenen und unelektrischen Körpern besteht die Wechselseitigkeit der Wirkung.

Wenn nun eine Stromschlinge sich wie ein Magnet verhält, auf einen frei beweglichen Magneten einen Antrieb ausübt, so liegt die Vermutung nahe, daß auch umgekehrt ein Magnet gemäß dem in der Natur herrschenden Gesetze der Wechselseitigkeit der Kraftwirkungen auf einen frei beweglichen Stromleiter eine mechanische Wirkung ausübt.

Hier mag erwähnt werden, daß schon Oersted zu seinem eingangs erwähnten Experiment den Gegenversuch anstellte, indem er ein kleines Element mit dem Schließungskreis frei beweglich aufhängte, freilich vergebens die Einstellung des Leiterkreises senkrecht zum magnetischen Meridian erwartete. Der Grund des Mißlingens lag in der mangelhaften Beweglichkeit des aufgehängten Systems.

Damit ist auch der Hinweis auf eine zweckmäßige Versuchsanordnung gegeben. Mit Hilfe einer leicht beweglichen Drahtschlinge oder eines Drahtviereckes zur Verstärkung der kleinen magnetischen Kraft einer einzelnen Stromschlinge, wie wir sie in den Drahtmodellen Ampères kennen, läßt sich deren Einstellung durch den Erdmagnetismus leicht erreichen. An Stelle der magnetischen Kraft kann man einen konkreteren Nachweis der Wechselseitigkeit der Wirkungen durch einen Stabmagneten vornehmen.

Auf der Umkehrung des Oersted'schen Versuches beruht das Drehspulgalvanometer. Zwischen den zylindrisch ausgedrehten Polschuhen eines Dauermagneten, der ein homogenes, kräftiges Magnetfeld gewährleistet, das magnetische Feld der Erde wie die magnetischen Einflüsse vorbeiziehender Ströme eliminiert, befindet sich ein genau zentrierter, feststehender Eisenzylinder, auf den die Kraftlinien radial zuströmen. Eine Drahtspule auf einem Aluminiumgestell bewegt sich reibungslos im Zwischenraum von Eisenzylinder und Polschuhen.

Auch hier werden bei Stromschluß durch das Zusammenwirken des magnetischen und strommagnetischen Feldes die Leiterschlingen zu einer Drehbewegung veranlaßt, die durch

einen Zeiger auf eine Skala übertragen wird. Die Drehung ist dabei ziemlich genau proportional der Stromstärke. Infolge der aperiodischen Schwingungen, hervorgerufen durch die bei der Drehung auftretenden Wirbelströme im Aluminiumgestell, nimmt der Zeiger gleich bei Stromschluß den endgültigen Stand ein.

Die bewegende Kraft eines Magnetfeldes auf einen stromdurchfloßenen Leiter wird im Gramme'schen Ringe zur Erzeugung einer Drehbewegung verwendet. Ein Eisenring, der zur Vermeidung von Wirbelströmen aus übereinanderliegenden, mit Papier isolierten Blechstreifen besteht und sich zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten bewegt, trägt Kupferdrahtwicklungen aus vielen Einzelspulen, deren Abzweigungen in gleichmäßigen Abständen nach unter sich isolierten Metallstreifen führen. Diese liegen auf einem Zylindermantel, Kollektor oder Kommutator genannt. Er ist mit der Ringachse fest verbunden. Zwei Bürsten, seitlich feststehende Schleiffedern, führen den Strom einer starken Elektrizitätsquelle in die Windungen des Ringankers.

Mit den erwähnten Versuchen und Anwendungen darf auch das Prinzip der Wirkung und Gegenwirkung für die eigentümliche Transversalkraft als hinreichend erwiesen betrachtet werden.

Die Bewegungsrichtung ergibt sich für die Stromschlingen leicht aus der rechten Handregel. Ein beweglicher Nordpol würde nämlich, in der Richtung des Stromes gesehen, nach links abgelenkt werden. Da er aber in unserer Anordnung fest ist, wird der bewegliche Stromleiter nach rechts abgelenkt. Man kann auch die Bewegungsrichtung festsetzen, indem man eine der Ampère'schen analoge Regel verwendet: Schwimmt man mit dem Strome und blickt man in der Richtung der Kraftlinien, so ist die auf den Strom einwirkende Kraft nach links gerichtet.

Bei der Anwendung dieser Regel zur Bestimmung der Drehrichtung der Elektromotoren beachte man, daß nur auf die Leiterteile, die auf der Stirnseite des Ringes gelegen sind, eine Bewegung ausgeübt wird.

III.

Die bewegende Wirkung eines feststehenden Magneten auf eine stromdurchflossene Spule, wie sie beim Drehspulinstrument oder beim Elektromotoren in Erscheinung tritt, läßt die Frage aufkommen, ob dies nicht auch für einen einfachen, geradlinigen Leiter zutreffe.

Zum Versuche werden auch hier leicht bewegliche Leiterteile notwendig sein. Eine Aluminiumnadel, an den Enden an zwei Lamettafäden (wie sie zur Christbaumverzierung verwendet werden) aufgehängt, komme zwischen die Pole eines starken Hufeisenmagneten, der mit seinem Nordpole auf einer Unterlage sei. Verbindet man die beiden Aufhängepunkte des Lamettafadens mit den Polen einer Stromquelle, so erfolgt eine Bewegung der Nadel entweder in das Innere des Hufeisenmagneten oder nach außen. Bei einem Polwechsel erfolgt der Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite, ebenso beim Umdrehen der Pole des Hufeisenmagneten.

Die Beziehungen der Richtungen von Bewegung, Kraftlinien und Strom lassen sich mit Hilfe der Linkenhandregel merken: Man halte die drei ersten Finger so, daß sie miteinander rechte Winkel bilden. Wenn der Mittelfinger die Stromrichtung, der Zeigefinger die Richtung der Kraftlinien hat, so gibt der Daumen die Richtung der Bewegung an. (Reihenfolge S—K—B)

Mit der Erledigung der beiden letzten Probleme wird auch die Einsicht von der großen praktischen Bedeutung des strommagnetischen Feldes Platz gegriffen haben. Ueberall da, wo wissenschaftliches Forschen den Energiegedanken gefördert hat, nahm sich die Technik seiner in überraschend schneller Weise an. Durch geeignete Anordnung hat sie die Wechselwirkung der überlagerten Felder eines Stromes und eines Magneten zur Erzeugung von mechanischer Arbeit verwendet und damit die physikalische Erkenntnis für das Arbeitsbedürfnis des Menschen verwertet.

IV.

Der Oersted'sche Versuch zeigt, daß der elektrische Strom eine magnetische Kraft ausübt. Unter seinem Einfluß erhält ein beweglicher Magnetpol einen Bewegungsantrieb. Nach dem Prinzip der Reaktion erfährt umgekehrt ein beweglicher Stromleiter im

Felde eines Magneten Kraftwirkungen. Machen wir stillschweigend die berechtigte Annahme, daß es nur eine Art magnetischer Kräfte gibt, daß also der von elektrischen Strömen ausgehende Magnetismus in seinen Wirkungen gleichartig und gleichwertig sei, wie die von den Magnetpolen ausgehenden Kräfte, so wird auch die von einem Stromleiter ausgehende magnetische Kraft einen andern Stromleiter bewegen können.

Will man der Ueberlegung, die zu der Wechselwirkung zweier Stromleiter führt, keinerlei zwingende Kraft beimessen, so kann man die Erwartung in folgende Form kleiden:

Die Einwirkung eines stromdurchflossenen Leiterteiles auf einen Magneten läßt vermuten, daß sich stromdurchflossene Leiter zu einander wie Magnete verhalten, also anziehende oder abstoßende Wirkungen auslösen. Daß übrigens der Erwartung nicht unbedingt das Eintreten der Erscheinung folgen muß, zeigt eine andere ähnliche Erscheinung, nämlich die Tatsache, daß zwar weiches Eisen sich Magneten gegenüber wie ein Magnet verhält, weiche Eisenstücke unter einander aber indifferent bleiben.

Als Leiterteile verwende man zwei senkrecht eingespannte parallel verlaufende Lamettafäden, in denen der Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung verläuft.

Bei Stromschluß findet zwischen gleichgerichteten Strömen Anziehung, zwischen entgegengesetzt gerichteten Strömen aber Abstoßung statt.

Da infolge der Trägheit der bei den Versuchen zur Anwendung kommenden Leiterteile nur kleine Verschiebungen erreicht werden, benützt man zur Erzeugung von stärkeren magnetischen Wirkungen ein Bündel von Leiterdrähten, wie sie im sog. Ampère'schen Drahtviereck zur Verwendung kommen.

Die gegenseitige Anziehung von parallelen und gleichgerichteten Strömen eines und desselben Stromkreises läßt sich mittels der Roget'schen Spirale demonstrieren. Sie wird an der einen Klemme aufgehängt und taucht mit dem untern Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen aus Metall, das mit der andern Klemme in Verbindung steht. Bei Stromschluß ziehen die Windungen einander an, worauf das untere

Ende der Spirale aus dem Quecksilber tritt und dabei den Stromkreis unterbricht.

Die Wechselwirkung zweier Stromleiter findet Verwendung im Elektrodynamometer.

V.

Bei der Behandlung des Magnetismus hatte sich ergeben, daß beim Zerbrechen eines Magneten ein jeder Teil wieder alle Eigenschaften eines Magneten aufwies. Diese Tatsache führt auf den Gedanken, daß ein jeder Magnet aus lauter Elementarmagneten oder Molekularmagneten zusammengesetzt sein könnte.

Nachdem die vorangegangenen Versuche gezeigt haben, daß jede stromdurchflossene Drahtschlinge in ihrer Umgebung dieselbe Wirkung auslöst wie ein Magnet und sie in gleicher Weise der Wirkung eines Magnetfeldes unterworfen ist wie ein Magnet, wird man sich die Frage vorlegen, ob die erwähnte Auffassung über den innern Bau eines Magneten mit den erweiterten Kenntnissen über das elektromagnetische Feld nicht zu modofizieren wäre. In der Tat legt der Glaube an die Einfachheit und Einheit des Geschehens auf physikalischem Gebiete es nahe, das physikalische Bild über die Konstitution des Magneten damit zu vereinfachen, daß man an Stelle der Molekularmagnete Elementarströme setzt und daß man diese elektrischen Kreisströme als alleinige Ursachen der magnetischen Wirkungen betrachtet.

Man stelle sich vor, daß in den Molekülen des Eisens und Stahles elektrische Ströme kreisen, welche die magnetischen Eigenschaften jener Stoffe bedingen. Die Molekularströme verlaufen in den magnetischen Körpern in widerstandslosen Bahnen als eigentliche Leiterströme schon vor der Magnetisierung. Daß sie nach außen keine Wirkung zeitigen, liegt in der gleichmäßigen Verteilung der Stromebenen nach den verschiedenen Richtungen im Raume. Die Einwirkung eines magnetischen Feldes auf diese Molekularströme besteht einzig und allein in der gleichen Orientation dieser Kreisströme.

Hier sei kurz bemerkt, daß durch Versuche die Existenz derartiger Molekularströme, die auf ihren widerstandslosen Bahnen keinen Energieverbrauch zur Folge haben, nachgewiesen worden ist.

VI.

Bekanntlich ruft ein permanenter Magnet in weichen Eisenstücken, die sich in seinem Felde befinden, vorübergehend Magnetismus hervor. Da nun eine stromdurchflossene Schlinge die Eigenschaften eines Magneten aufweist, so kann man erwarten, daß sie auch auf den Magnetismus im weichen Eisen einwirkt. Zur Verstärkung der magnetischen Wirkung einer Stromschleife kann man gemäß dem bekannten Multiplikationsgesetze eine größere Anzahl von Windungen verwenden, eine sog. Stromröhre oder ein Solenoid.

Schiebt man einen Stab weichen Eisens in ein Solenoid, so wird er bei Stromschluß zu einem kräftigen Magneten, Elektromagnet genannt, weil die Erzeugung des Magnetismus durch den elektrischen Strom erfolgte.

Diese Tatsache könnte auf Grund der aufgestellten Molekularhypothese des Magnetismus vorausgesehen werden. Unter dem Einfluß des strommagnetischen Feldes, das in seinen Wirkungen dem des magnetischen Feldes identisch ist, ordnen sich die Elementarströme in Ebenen, die zur Stabachse senkrecht stehen. Die Gesamtheit der in einer Ebene kreisenden Ströme kann durch einen einzigen, an der Umrandung der Ebene fließenden Strom ersetzt werden, welcher der Ebene nord- und südpolaren Charakter verleiht. Gemäß der Rechtenhandregel werden alle nordpolaren Flächen der Kreisströme in der Richtung des ausgestreckten Daumens weisen.

Es läßt sich auch voraussehen, daß eine Aenderung der Stromrichtung auch einen Polwechsel des Elektromagneten zur Folge hat, was mit einer Magnetnadel leicht nachgewiesen werden kann. Mit dem Schließen und Öffnen des Stromes haben wir den Magnetismus völlig in unserer Gewalt, erreichen mit dem Erregen zugleich anziehende Wirkungen auf Eisenstücke, nämlich deren Festhalten entgegen der Wirkung der Schwere. Mit dem Verschwinden des Magnetismus hört die anziehende Kraft auf. Im Bau von mannigfaltigen und sehr zahlreichen Apparaten hat sich die Technik die Wirkungsweise des Elektromagneten zu Nutze gemacht, so in der Telegraphie, in den Selbstunterbrechern und Einschaltern der

verschiedensten Art. Der Gedanke der Erreichung einer größeren Tragkraft führte neben der Verwendung stärkerer Ströme auf die Hufeisenform des Elektromagneten.

VII.

1. Die Erkenntnis des Gesetzes von der Erhaltung der Energie schält aus der Idee von der gegenseitigen Verwandtschaft und Umwandelbarkeit der Naturkräfte den klaren Gedanken, daß es zur Erzeugung von Magneten mit Hilfe des elektrischen Stromes ein notwendiges Gegenstück geben müsse:

Ein bewegter Magnet erzeugt in einem geschlossenen Leiter einen Strom.

Es mag für die Behandlung dieses Problemes besonders wertvoll sein, in die Geschichte der elektromagnetischen Induktionswirkungen einen Einblick zu werfen. Die ersten Jahrzehnte nach der epochemachenden Entdeckung Oersteds konnten sich noch nicht auf das Energiegesetz als eine gereifte und führende Tatsache berufen. Dafür führte die Erscheinung, daß galvanische Elektrizität und Reibungselektrizität identisch seien, auf den Gedanken, daß es analog den Influenzwirkungen der statischen Elektrizität auch Induktionswirkungen des elektrischen Stromes geben müßte. Wie eine elektrische Ladung in einem benachbarten Leiter eine Ladung induziert, so sollte auch der elektrische Strom, den man als ein Fließen elektrischer Ladungen deutete, in dem benachbarten Leiter die in ihm hervorgerufenen Ladungen mit sich fort führen. Die Feststellung Ampères, daß Magnetismus und Elektrizität die Aeusserung eines und desselben Zustandes sein müßten, hätte wohl auf dem nächstliegenden Gedankenwege zur Entdeckung der Induktionsströme führen können, allein da die klare Einsicht in die Einheit der Naturkräfte fehlte, sollte der Weg zur Entdeckung mühsamer sein. Erst als Arago 1824 bemerkte, daß eine ruhende Magnetnadel, unter welcher eine Metallscheibe kreiste, in Rotation kam, induzierter Magnetismus infolge der abstoßenden Wirkung zwischen Nadel und Scheibe nicht in Frage kommen konnte, — als Herschel und Babbage 1825 die Umkehr der Erscheinung experimentell darlegten, wonach eine rotierende Magnetnadel eine unter ihr befindliche Metall-

scheibe in drehende Bewegung versetzte, da konnte niemand mehr an die Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus zweifeln. Wie Elektrizität auf einen ruhenden Magneten einwirkt, so mußte auch ein Magnet Elektrizität in Bewegung versetzen, also einen elektrischen Strom erzeugen. Allein alle Versuche, jenen analogen Vorgang auf dem Gebiete der Elektrodynamik aufzudecken, mißglückten. Von unserem heutigen physikalischen Standpunkte aus begreifen wir den Mißerfolg, da man sich vergeblich mühte, mit Hilfe eines *ruhenden* Magneten einen elektrischen Strom erzeugen zu wollen, von dem man ja weiß, daß in ihm eine Energie innewohnt, die nur aus einem ganz bestimmten äquivalenten Aufwand gewonnen werden kann. Auch die Erfolglosigkeit, nach Ablauf der Bewegung, nicht während der Bewegung, eine Wirkung im Leiter nachzuweisen, ist vom Standpunkt unserer heutigen physikalischen Prinzipien verständlich. Umso mehr ist zu beachten, wie die Forscher der damaligen Zeit, von einem unbestimmt drängenden Gefühl erfaßt, nach jener Umkehr des Oerstedschen Fundamentalversuches suchten.

Für den Unterricht wird der Leitgedanke des physikalischen Forschens von der Umkehr der Erscheinungen ebenfalls der führende Gedanke sein, um das Problem der Induktionswirkungen aufzugreifen. Der Hinweis auf bekannte analoge Wechselwirkungen dürfte die Fruchtbarkeit dieses Gedankens auch auf andern physikalischen Gebieten darlegen, und im Prinzip so die eingangs erwähnte Problemstellung rechtfertigen.

a) Fließendes Wasser bewegt ein ruhendes Wasserrad. Umgekehrt vermag ein von einem Motor angetriebenes Wasserrad einen Wasserstrom zu erzeugen.

b) Eine Kolbenmaschine kann mit Druckluft betrieben werden. Umgekehrt kann eine Kolbenmaschine durch einen Antrieb Druckluft herstellen.

c) Ein elektrischer Strom entwickelt in einem Leiter Wärme. Umgekehrt kann die Wärme in einem Leiter einen Strom hervorrufen.

d) Ein elektrischer Strom scheidet das Metall aus einer Verbindung. Durch Verbindung eines Metalles entsteht ein elektrischer Strom.

2. Zur Einführung in das Gebiet der Induktionswirkungen sei das Problem wie folgt gestellt:

Ein vom Strom durchflossener Leiter erzeugt nach Oersted in seiner Umgebung ein Magnetfeld. Könnte nicht auch umgekehrt ein Magnetfeld in einem benachbarten Leiter einen Strom erzeugen?

Für die Anordnung zum einleitenden Versuche ergibt die Fragestellung den wichtigen Hinweis, daß der Leiter geschlossen sein muß, da ja nach früheren Feststellungen der Wirbelraum und die ihn umlagernden Kraftlinien wie geschlossene Glieder einer Kette ineinandergreifen müssen. Es wird ja bei der Einwirkung des Magneten auf den Leiter erwartet, daß der Magnet im Leiter eine elektromotorische Kraft wecke, welche gemäß dem Ohm'schen Gesetze eine Strömung hervorruft. Diese ist aber nach den uns bekannten Tatsachen nur in einem geschlossenen Leiter möglich, der vorerst allein zum Nachweis von Induktionsströmen in Betracht kommen kann. Zur Beobachtung dieser Ströme wird ein Galvanometer benötigt, das auch die Richtung der Ströme erkennen läßt und so aufgestellt wird, daß es vom Felde des Magneten nicht beeinflußt werden kann. Für die weitere Anordnung von Leiter und Magnet ist der Gedanke der Umkehr des Oersted'schen Versuches wegleitend. Windet sich hier das Magnetfeld rotatorisch um den Leiter, so wird man die Umkehrung erwarten müssen, daß im neuen Falle ein elektrisches Feld in umgekehrter Richtung um den Magneten kreise.

Dementsprechend verwende man eine Drahtspule, die an die Klemmen eines Drehspulgalvanometers angeschlossen ist. Man führe einen starken Stabmagneten in die Spule ein. Ein Ausschlag am Galvanometer zeigt einen Stromimpuls an. Bleibt der Magnet in der Spule liegen, so verharrt der Zeiger in seiner Ruhelage. Beim Hinausziehen des Magneten wird ein Strom in entgegengesetzter Richtung induziert. Beim Verbleiben des Magneten ausserhalb der Spule fließt kein Strom.

Bei kontinuierlichem Einführen und Herausziehen des Magneten gerät die Nadel in schwingende Bewegung, wenn man im Takte mit den Eigenschwingungen der Nadel vorgeht.

Die hervorgerufenen Schwingungen sind ein Beweis dafür, daß in der Spule ein Strom von wechselnder Richtung, ein Wechselstrom, erzeugt wird.

Die Erzeugung von elektrischen Strömen mit Hilfe eines Magneten nennt man Magnetoinduktion. Die dabei in Erscheinung tretenden Ströme heißen Induktionsströme. Als das Wesentliche aus den Versuchen resultiert die Erkenntnis, daß der Induktionsstrom nur solange anhält, als die Bewegung des Magneten andauert.

Gerade auf die Tatsache, daß ein ruhender Magnet keinerlei Ströme induziert, muß im Hinblicke auf die erfolglosen Bemühungen der Physiker während einer Reihe von Jahren hingewiesen werden. Da ein jeder elektrische Strom einen ganz bestimmten Arbeitswert darstellt, der nur durch einen äquivalenten Aufwand an Energie gewonnen werden kann, ist es auf Grund des Prinzipes von der Erhaltung der Energie eine Selbstverständlichkeit, daß ein ruhender Magnet keinen Strom erzeugen kann.

Indes soll vermieden werden, in deduktiver Darstellung die Induktionsgesetze als eine Folgerung aus einem allgemeinen Prinzip zu gewinnen. Vielmehr kommt es darauf an, durch geeignete Erfahrungstatsachen die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Energie auch auf dem Gebiete der Elektrizität darzulegen, um so in geschlossenem induktivem Vorgehen auf allen Gebieten der Physik von gewonnenen Erfahrungen zum allgemein umfassenden Gesetze emporzusteigen.

3. Da alle Bewegungen, die wir wahrnehmen, nur relative Bewegungen sind, werden die Versuche auch dahin ausgedehnt, ob auch auf dem Gebiete der Induktionsströme nur Relativbewegungen in Frage kommen.

Statt des Magneten wird die Spule gegen den Magneten bewegt. Es zeigen sich dieselben Erscheinungen wie vorhin, womit die Relativität der Induktionswirkungen dargelegt ist.

4. Bei den bisherigen Versuchen läßt sich leicht beobachten, daß schon ein Annähern oder ein Entfernen des Magneten genügt, um Induktionsströme zu erhalten. Das besagt deutlich, daß nicht etwa der Magnetstab an und für sich, sondern sein Feld, das gegen die Spule verschoben wird, die Ursache des Entstehens der Induktionsströme ist.

Aus der Magnetostatik ist uns ja bekannt, daß mit jedem Magneten ein magnetisches Kraftfeld unzertrennlich verbunden ist, ein Raum, in welchen der Magnet seine charakteristischen Wirkungen äußert.

In allen Versuchen findet man nun das Gemeinsame, daß ein Magnetfeld gegen einen Leiter verschoben wird, wobei an jeder Raumstelle die Richtung und die Stärke des magnetischen Feldes sich ändert. *Diese Aenderung der Feldintensität in der Umgebung des Leiters ist demnach die eigentliche Ursache des Induktionsstromes.*

Der geheimnisvolle Vorgang der Induktion besteht also darin, daß durch die Variation des magnetischen Feldes elektrische Kraftlinien das Feld wirbelförmig umfließen, wie im Oersted'schen Versuche die magnetischen Kraftlinien den Stromleiter umkreisen. Der Rotationssinn des elektrischen Feldes bleibt selbstverständlich bestehen, auch wenn die Drahtspule um 180 Grad gedreht wird. Derartige Versuche bringen also nichts Neues, höchstens vermögen sie den Einblick in den wahren Sachverhalt zu trüben.

5. Eine räumliche Verschiebung eines Magnetfeldes gegenüber einem Leiter erhält man aber auch, indem man ein Bündel Eisenstäbchen, die in einer Drahtspule liegen, durch Annähern und Entfernen eines Magneten stärker oder schwächer magnetisiert. Im Verstärken oder Schwächen des Magnetismus in der Umgebung eines Leiters ist somit eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung eines elektrischen Stromes gegeben.

Eine prinzipiell von der besprochenen Methode nur wenig verschiedene Abänderung besteht in der Benützung des erdmagnetischen Feldes. Eine Spule, deren Achsen in der Richtung der Inklinationsnadel liegt, — Draht mit einem Galvanometer verbunden — wird um 180 Grad gedreht. Es entsteht ein Induktionsstrom in der einen, bei weiterem Drehen um 180 Grad ein Induktionsstrom in der andern Richtung.

6. Da das Feld eines Magneten gerichtet ist, läßt sich voraussehen, daß die Induktionsströme, hervorgerufen durch Annähern und Entfernen eines Nordpoles denen entgegengesetzt sind, die durch Annähern und Entfernen eines Südpoles erzeugt werden.

7. Es erübrigt noch, die Stärke des induzierten Stromes

oder zweckmäßiger ausgedrückt, die Abhängrgkeit der Größe der induzierten elektromotorischen Kraft festzustellen.

Im Hinblick auf die Multiplikation der magnetischen Kraft bei der Galvanometerspule liegt es nahe, zu untersuchen, ob jenes erwähnte Multiplikationsprinzip auch bei der Induktionsspule seine Anwendung finde.

Man wird unschwer feststellen, daß mit der Vermehrung der Leiterwindungen die induzierte Kraft einen gleichmäßig sich vergrößernden Ausschlag am Galvanometer ergibt.

Da für die Erzeugung eines Induktionsstromes nur eine Bewegung des Magnetfeldes gegenüber einer Leiterspule in Frage kommt, liegt es nahe, die Verschiebung mit verschiedener Geschwindigkeit vorzunehmen. Die geweckte elektromotorische Kraft hängt auf Grund solcher Versuche von der Aenderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes in der Umgebung des Leiters ab.

8. Da nach früherem eine stromdurchflossene Spule sich wie ein Magnet verhält, ist zu erwarten, daß eine solche Spule gleich einem Magneten imstande ist, Induktionsströme hervorzurufen.

Man bewege eine stromdurchflossene Spule, die aus wenig Windungen eines dicken Drahtes besteht, (die Primärspule) in den Hohlraum einer andern Spule hinein, (die Sekundärspule), deren Windungen aus dünnem, langem Draht bestehen, und mit einem Galvanometer verbunden sind.

Beim Hineinstecken und Herausnehmen der Primärspule entstehen wieder Ströme in entgegengesetzter Richtung.

9. Eine Veränderung des strommagnetischen Feldes am Orte eines Leiters und damit eine Erregung eines Induktionsstromes läßt sich weiter, statt durch Bewegung der beiden Spulen zueinander, durch Schwächen und Stärken des Primärstromes erreichen.

Hiebei darf die Tatsache wieder beachtet werden, daß ein konstantes strommagnetisches Feld, also ein in der Primärspule mit konstanter Stärke fließender Strom, im benachbarten Leiter keinen Induktionsstrom bewirkt.

10. Nach einem früheren Versuche hängt die Stärke eines Induktionsstromes von der Aenderungsgeschwindigkeit des induzierenden Magnetfeldes ab. Eine große Aenderungsge-

schwindigkeit des strommagnetischen Feldes ergibt sich aber durch Oeffnen und Schließen des Stromes.

Wenn auch diese Versuche über die Induktionswirkungen nichts Neues bringen, so sind sie dadurch von großer Bedeutung, weil sie die bekannten Regeln für die Richtung der Induktionsströme finden lassen. Bei Stromschluß wird in dem benachbarten Leiter ein Induktionsstrom von entgegengesetzter Richtung, beim Oeffnen ein solcher von gleicher Richtung wie der induzierende Strom hervorgerufen.

Die Wirkung dieser Induktionsströme kann noch erheblich verstärkt werden, wenn man ein Bündel Weicheisendrähte in die Höhlung der Primärspule hineinsteckt. Zu den Induktionswirkungen des entstehenden und verschwindenden strommagnetischen Feldes gesellen sich noch die Induktionswirkungen des entstehenden u. verschwindenden Magnetfeldes des Eisenbündels.

Man beachte noch besonders, daß der in der Sekundärspule induzierte Strom eine Folge des induzierten elektrischen Feldes ist, das auch dann vorhanden ist, wenn die Sekundärspule fehlt. Der Leiter dient also nur dazu, um ein elektrisches Feld oder einen Spannungszustand zu erkennen. Die im Leiter herrschende Stromstärke richtet sich gemäß dem Ohmschen Gesetze nach dem Widerstand.

11. Es erhebt sich nun die Frage: Welches ist die Quelle des Induktionsstromes?

Auf Grund des ersten Versuches ergibt sich, daß der Induktionsstrom offenbar aus mechanischer Arbeit entsteht, denn außer der Verschiebung eines Magnetfeldes hat das System keine Aenderungen erfahren.

Damit aber z. B. ein Nordpol beim Annähern an einen Leiter eine Arbeit leisten kann, muß ihm längs des Weges ein Widerstand entgegengesetzt werden. Das wird der Fall sein, wenn die dem Nordpol zugekehrte Spulenfläche nordpolaren Charakter hat, also abstoßend wirkt, der Strom in ihr in entgegengesetzter Richtung kreist, wie die Ampère'schen Molekularströme im Magneten. Ein Südpol würde den Magneten anziehen und so dem System dauernd Arbeit ohne ein Aequivalent liefern, was mit dem Energiegesetze unvereinbar wäre. Um beim Entfernen des Nordpoles eine Arbeit leisten zu

können, muß die dem Pole zugekehrte Spulenfläche südmagnetisch sein, damit sie mit ihrer anziehenden Wirkung die Bewegung hemmen kann.

Aehnliche Betrachtungen lassen sich bei den Induktionswirkungen zweier Stromleiter anstellen. Beim Annähern muß der Sekundärstrom dem Primärstrom entgegengesetzt gerichtet sein, damit durch eine Bewegung Arbeit geleistet werden kann. Beim Entfernen der beiden Spulen von einander haben die Ströme gleiche Richtung.

Das aus den Experimenten sich leicht ergebende Gesetz kann nach Lenz also formuliert werden:

Der induzierte Strom hat stets einen solchen Umlaufsinn, daß er durch die von ihm ausgehende magnetische Kraft den induzierenden Vorgang zu hemmen sucht.

Aus den Versuchen ergibt sich, daß das Induktionsgesetz mit dem Energiegesetz in Einklang steht. Diese Uebereinstimmung ist auch das einzige, mit welcher sich der forschende Geist abfinden kann. Besitzen wir in der Thermodynamik ein einheitliches, alle Vorgänge umfassendes Bild, so ist uns in den Mechanismus der Induktionswirkungen jede Einsicht versagt. Das mag es wohl sein, daß die Induktionsgesetze, von einer oberflächlichen Behandlung abgesehen, bei vielen einen gewissen Grad des Unbehagens, des Unbefriedigtseins hinterlassen haben. Damit wird man sich abfinden müssen. Das Gesetz von der Verwandlung und Erhaltung der Energien, das zur Kontrolle herangezogen wurde, gestattet zwar, eine Aenderung des magnetischen Feldes als eine Aenderung potentieller Energie aufzufassen, die ihr Aequivalent laut Erfahrung im Auftreten eines Induktionsstromes hat. Allein über die innern Vorgänge, über die Art des Geschehens gibt es keinen Aufschluß.

12. Die Induktionswirkungen von Magneten oder Strömen auf Drahtspulen lassen die Frage nach dem Verhalten eines bewegten geraden Leiters im magnetischen oder strommagnetischen Felde aufkommen. Die Anleitung zur experimentellen Lösung dieser Frage erhält man, wenn man sich an das in Abschnitt III behandelte Problem hält, wonach ein stromführender Leiter im Magnetfelde einen Bewegungsantrieb

erhält. Die Umkehrung dieser Erscheinung läßt dann erwarten, daß durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfelde im Leiter ein Strom entstehen könnte.

Man bewege daher einen Leiterdraht, der in seinem Schließungskreis ein empfindliches Galvanometer enthält, rasch durch das Kraftlinienfeld eines starken Hufeisen- oder Elektromagneten. Während der Bewegung zeigt ein Ausschlag am Galvanometer einen kurz andauernden Strom an. Bei der Umkehrung der Bewegungsrichtung erfolgt ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite.

An diesen Nachweis von Induktionsströmen in einem geraden Leiter lehnen sich auch die weiteren Versuche, die mit der Drahtspule vorgenommen wurden, Versuche über die Dauer des Induktionsstromes, über die Relativität der Induktionswirkungen, über die Abhängigkeit der Stärke des Induktionsstromes von der Stärke des magnetischen Feldes, über dessen Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters im Magnetfelde, wobei sich wiederum die Aenderung der Feldintensität in der Umgebung des Leiters als die eigentliche Ursache des Induktionsstromes ergibt.

Ein Vergleich mit den Versuchen über die Bewegung von stromführenden Leitern in einem magnetischen Felde und den obigen Induktionswirkungen ergibt, daß die Stromrichtungen in beiden Fällen dieselben sind. Die Bewegungsrichtungen dagegen sind einander entgegengesetzt. Die Beziehungen zwischen der Bewegungsrichtung, der Kraftlinienrichtung und der Stromrichtung kann demnach durch eine Rechtehandregel (Flemmingsche Dreifingerregel der rechten Hand) ausgedrückt werden:

Man halte die 3 ersten Finger der rechten Hand so, daß sie rechte Winkel miteinander bilden. Dann gibt der Daumen die Richtung der Bewegung, der Zeigefinger die Richtung der Kraftlinien und der Mittelfinger die Richtung des Stromes an.

13. In den bisherigen Induktionswirkungen handelte es sich um Erscheinungen in geschlossenen Leiterdrähten. Wegen ihres geringen Querschnittes ist es begreiflich, daß sich die induzierende Kraft im ganzen Querschnitt in gleichem Betrage

und in gleicher Richtung äußert und so das Auftreten selbständiger, geschlossener Strombahnen, sogenannter Wirbelströme, verhindert wird. Man wird sich daher die Frage vorlegen, ob und wie die Induktionswirkungen sich in zusammenhängenden Leitermassen äußern.

Statt eines Leiterdrahtes führe man eine Kupferplatte quer durch das Feld eines Elektromagneten. Am eindrucksvollsten erfolgen die Versuche mit dem bekannten Waltenhofenschen Pendel, einer Kupferplatte, welche zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagneten schwingt.

Ist der Elektromagnet in unerregtem Zustande, so schwingt das Pendel in gewohnter Weise, bis es infolge des Luftwiderstandes und der im Aufhängepunkt entstehenden Reibung zur Ruhe kommt.

Wird das Feld des Magneten erregt, so kommt das schwingende Pendel in der „Ruhelage“ augenblicklich zum Stillstand. Führt man das Pendel mit der Hand durch das Feld, so spürt man eine bremsende Wirkung, einen unsichtbaren Widerstand, als zöge man die Kupferplatte durch ein zähes Mittel, wie Honig oder Sirup.

Die beobachteten Vorgänge lassen sich nicht auf die Wirkung induzierten Magnetismus zurückführen. Vor dem Durchgang der Kupferplatte durch die Ruhelage findet zwischen den Polen des Elektromagneten und den Polen des induzierten Magnetfeldes Abstoßung, nach dem Passieren der Ruhelage aber Anziehung statt. Induzierte Pole in der Kupferplatte aber würden in beiden Lagen des Pendels gleichartige Wirkungen zeigen.

Zur Erklärung der Erscheinungen am Waltenhofenschen Pendel wird man auf die bisher bekannten Induktionswirkungen im Leiterdraht zurückgreifen. Wie hier, so werden auch in den zusammenhängenden Leitermassen Induktionsströme erzeugt, die gemäß dem Lenz'schen Gesetze im bestehenden Magnetfelde so gerichtet sind, daß sie die Bewegung der Metallmassen zu hemmen suchen. Die Richtung der induzierten Ströme, Wirbelströme genannt, innerhalb des Magnetfeldes untersucht, läßt sich nach der erwähnten Dreifingerregel der rechten Hand bestimmen. Wenn sich auch der Nachweis

dieser Induktionsströme nicht so einfach gestaltet, so läßt sich doch zeigen, daß sie sich in den nicht im Magnetfeld befindlichen Teilen des Pendels schließen. Unterbricht man nämlich die Leitermassen des Pendels in derjenigen Richtung, in welcher die Wirbelströme fließen, verwendet man also eine kammförmig eingesägte Kupferplatte, so erfolgt keine so rasche Dämpfung, wie in obigem Falle, ein Beweis, daß die Zerteilung der Kupfermassen das Zustandekommen größerer Wirbelströme erschwert.

Die Erwärmung einer ungeschlitzten Kupferplatte bei mehrmaligem Durchgang durch das Feld eines Magneten zeigt des ferneren, daß die beim Hineinschieben und Herausnehmen der Platte aus dem Aktionszentrum geleistete Arbeit eine Transformation erfährt.

Die beruhigende Wirkung eines Magnetfeldes auf schwingende Kupfermassen wird zur schnellen Dämpfung von Spulengalvanometern verwendet. Die unerwünschte Umsetzung der elektrischen Energie der Wirbelströme in Wärme in den Eisenmassen der Dynamos und Transformatoren hat die Technik veranlaßt, die Ausbildung von größeren Wirbelströmen dadurch zu verhindern, daß man den Eisenkern unterteilt, d. h. in Lamellen zerlegt, deren Oberflächen parallel dem magnetischen Kraftfluß liegen.

14. Der energetische Standpunkt, den man sich nach der vorangegangenen Entwicklung zu eigen gemacht hat, gestattet eine einfache Erklärung der Erscheinung der Selbstinduktion in einem Leiter. Bei Stromschluß erfordert die Erzeugung des magnetischen Feldes um den Leiter eine Ausgabe von Stromenergie in Form von magnetischer Energie. Der Strom wird also nicht gleich in seiner vollen Stärke zirkulieren, die er gemäß dem Ohm'schen Gesetze annehmen müßte. Umgekehrt erfolgt beim Oeffnen eine Rückgabe der Energie des magnetischen Feldes in Form von elektrischer Energie in den Leiter, womit der erlöschende Strom verstärkt wird. Strommagnetische und elektrische Energien verhalten sich demnach wie kinetische und potentielle Energien, die beim Fehlen von Reibungswiderständen gegenseitig ohne Verluste umwandlungsfähig sind, also reversible Prozesse durchlaufen.

Es ist damit gegeben, die bildende Kraft der Analogie zur Geltung kommen zu lassen. Der Trägheit der Selbstinduktion läßt sich die Trägheit der Massen gegenüberstellen. Bei der Bewegung eines Körpers wirkt dessen Masse infolge der Trägheit einer Geschwindigkeitsänderung entgegen, im Anlaufe im Sinne eines Widerstandes gegen die Beschleunigung, im Endlauf im Sinne eines Hemmnisses gegen die Verzögerung.

15. Da mit den Induktionswirkungen Energieumwandlungen verknüpft sind, so liegt es in der Natur der Sache, daß sich die Technik in ungemein reichhaltiger Weise der wissenschaftlichen Erkenntnis angenommen und sie für die praktischen Bedürfnisse des Menschen verwertet hat. Die Grundversuche über die Induktionserscheinungen geben treffliche Gelegenheit, als Ausgangspunkt für die Besprechung der Gleichstromdynamomaschine, der Wechselstrommaschine, des Telephons, des Funkeninduktors und des Transformatoren zu dienen. Wenn auch die rein praktischen Fragen nach der Nützlichkeit des Gelernten für das Weiterstudium oder für die Verwendbarkeit des behandelten Stoffes im weiteren Lebensberufe an zweiter Stelle stehen müssen, so dürfen sie hier im Unterrichte nicht fehlen.

VIII.

Henri Poincaré äußert sich in einer seiner Schriften, daß die praktisch veranlagten Menschen bei der Wissenschaft nach allen Mitteln fragen, mit denen man sich einen Reichtum verschaffen könne, als ob die Wissenschaft dazu da wäre, den Materialismus zu nähren. Derartigen Menschen sollte man keine Antwort geben, vielmehr sollte man sie fragen, wozu man denn eigentlich Reichtümer sammle. Die Sorge und die Jagd nach materiellen Dingen sei es ja gerade, welche die Wissenschaft vernachlässigen lasse, sie, die allein berufen ist, unsern Geist zu befähigen, in ihr seine Befriedigung zu suchen.

In dem kleinen betrachteten Gebiete wollte ich denn auch nicht den Gedanken aufkommen lassen, als wäre das Hauptziel der Abhandlung das, auf die technischen Anwendungsmöglichkeiten vorzubereiten und sie zu erörtern. So möge

ein zusammenfassender Rückblick auf das Oersted'sche Problem und dessen Umkehrung die darin verborgene Harmonie der Erscheinungen klar zu erkennen geben.

Nach dem Oersted'schen Fundamentalversuch ist immer ein elektrischer Strom von einem Magnetfeld umgeben. Die realistische Wissenschaft setzt die Gleichförmigkeit des Verlaufes der Naturerscheinungen voraus. Strom und Magnetfeld sind aber nur verschiedene Aeußerungen eines und desselben physikalischen Ereignisses. Man wird so ersehen, daß der Versuch nur einen speziellen Fall eines allgemeineren Sachverhaltes widergibt. Betrachtet man nämlich den Strom als einen beständigen Zerfall eines elektrischen Feldes, so liegt die Tatsache vor, daß mit dem Zerfall des elektrischen Feldes ein Magnetfeld verbunden ist. Umgekehrt resultiert aus jeder Aenderung eines magnetischen Feldes ein elektrisches Feld.

Deutet man die zeitliche Aenderung eines Magnetfeldes an einem bestimmten Raumpunkte als Strom, in Analogie zu den elektrischen Verschiebungsströmen im Dielektrikum, so vermag man in der nachfolgenden Formulierung etwas von der wunderbaren Symmetrie ahnen, welche in den Maxwell'schen Gleichungen liegt.

Um einen elektrischen Strom wirbelt ein Magnetfeld, welches, in der Richtung des Stromes besehen, im Sinne einer Rechtsschraube rotiert.

Um einen magnetischen Strom windet sich ein elektrisches Feld, das, in der Richtung des magnetischen Stromes besehen, im Sinne einer Linksschraube kreist.

In dieser seltsamen Wechselwirkung des elektrischen und magnetischen Feldes tritt dem Beschauer so recht die bewundernswerte Einfachheit des Naturgeschehens entgegen.

Anmerkung. Die hier angeführten Versuche finden sich in ausführlicher und anschaulicher Form in meiner Arbeit: „Physikunterricht auf Grund des Utz'schen Apparates", im Selbstverlag von Arthur Utz, Mechaniker in Bern, erschienen. Im übrigen sei auch auf jedes größere Lehrbuch der Physik verwiesen.

Von den Steinen.

Von *E. Geiger*, Hüttwilen.

Ein Naturkundeunterricht ohne Exkursionen ist heute undenkbar. Durch diese lernt der Schüler seine Sinne schärfen, und zum Beweis, daß man in Feld und Wald mit wachen Sinnen sich tummelte, werden Sammlungen angelegt, Entwicklungsreihen zusammengestellt, präpariert und konserviert. Ist man draußen, so wird überall, da, wo in der Natur sich Anfang, Höhepunkt oder Ende eines Vorganges sich zeigt, Halt gemacht und die Aufmerksamkeit im besondern dorthin gelenkt, wo das Leben als wirkende Kraft in Tier und Pflanzen tätig ist. Doch auch dem Gelände der nähern und fernern Heimat gilt das Schauen, diese Formen aufzufassen als etwas Gewordenes, hervorgegangen aus wirkenden physikalischen und chemischen Kräften, nicht verharrend, sondern fortschreitend und sich ablösend im Kreislauf des Naturgeschehens. Jene Dinge aber, die in der Natur zu den ältesten Gebilden gehören und dem Menschen auf Schritt und Tritt begegnen und zwar in den mannigfachsten Formen und Zusammensetzungen, die Steine, sie werden nur selten in den Kreis der Betrachtung gezogen. In ihrer starren Leblosigkeit scheinen sie stumme Zeugen unserer Mutter Erde zu sein, die uns nichts offenbaren wollen. Und doch haben sie eine Geschichte, von ihrem Werden bis zu ihrem Vergehen, eine Geschichte, die ihnen ins Gesicht geschrieben ist und die sich denen offenbart, die sich mühen, die ältesten Urkunden unserer Erdgeschichte zu enträtseln. Heute ist auch die Gesteinskunde nicht

mehr bloß eine beschreibende Wissenschaft, sondern ihr Forschungsziel liegt in der Frage nach der Entstehung, nach dem Werden und Vergehen der Steine. Von diesem Standpunkt aus ist jedes Gebilde der Natur, sei es Pflanze, Tier oder Stein, als Produkt wirkender Naturkräfte aufzufassen, und es wird als solches Zeugnis ablegen von den einwirkenden Faktoren. In dem Moment, wo ich das Naturobjekt betrachte, stellt es mir eine Phase dar im Ablauf der daran wirkenden Kräfte. Dieser Ablauf geschieht scheinbar in einer Kreislinie, so daß wir von Kreisläufen in den Naturereignissen reden. Während nun zum Beispiel bei der Pflanze es uns beobachtenden Menschen leicht ist, den Ablauf der sich ablösenden Kräfte zu verfolgen und ihn zu überblicken, wird das bei einem Stein viel schwieriger sein, weil hier die einzelnen Phasen viel langsamer aufeinander folgen und die Spanne zwischen Anfang und Ende nicht am menschlichen Leben gemessen werden kann, weil Jahrmillionen dazwischen liegen. Darum erscheint uns ein Stein als starres, totes Gebilde, das seit den Schöpfungstagen unverändert geblieben ist. Diesen Ablauf im Geiste zu überschauen, erfordert schon eine weitumfassende Vorstellungskraft; denn die Veränderungen, die sich im Stein vollziehen, erstrecken sich nicht bloß über Tage, Jahre und Menschenalter, sondern über Jahrmillionen, und wer sich in solche Anschauungen hineinarbeitet, dem offenbart die Natur etwas von ihrer Göttlichkeit, von ihrer Ewigkeit.

Daß der Lehrer auf Exkursionen diese Naturobjekte nicht in den Kreis der Betrachtung zieht, ist einmal begründet durch die ungeheure Mannigfaltigkeit, in welcher ihm diese Gebilde entgegentreten. Diese gewaltige Variationsbreite hat aber ihre Ursache darin, daß im viel länger dauernden Ablauf der Bildungsphasen weit mehr Zwischenstufen zur Geltung kommen. Bei den Pflanzen sind diese Zwischenstufen auch vorhanden, aber sie treten viel weniger stark in Erscheinung, weil sie nicht lange bestehen und uns das Endglied schon vorschwebt. Daß hier das Fortschreiten von einer Phase zur andern noch mehr auf einer Linie bleibt, dafür sorgt die richtunggebende Lebenskraft.

Doch nun weg von diesen allgemeinen Betrachtungen und hin zu den Steinen, die uns in Fülle umgeben. Bei ihrer

Betrachtung wollen wir uns auf den Standpunkt stellen, daß aus den physikalischen und chemischen Eigenschaften, die wir an ihnen feststellen, auf die wirkenden Kräfte geschlossen werden kann, so daß also die Steine uns etwas sagen können. Auf die Frage, wo man beginnen solle, wird es gut sein, wenn wir die erste Exkursion in eine Bachschlucht machen, wo der Stein als loses Geröll und zugleich als gewachsener Fels zu beobachten ist. Da wird es für den Schüler nicht schwer sein, festzustellen, daß die meisten Gerölle nicht vom Fels stammen, daß sie ortsfremd sind. Eindringlicher wird das noch zum Bewußtsein kommen, wenn wir einen Findling antreffen. Dann wird auf die Frage des Woher eine kurze Behandlung des eiszeitlichen Materialtransportes folgen müssen; einmal wie dieser Transport vor sich ging und sodann, welches die Folgen davon gewesen sind. Das führt uns auf die Form der Steine. Eine Exkursion zu einem Aufschluß in eine Grund- oder Seitenmoräne, dann zu einer Kiesgrube in Schotter, und endlich auf eine Thurkiesbank wird den Zusammenhang zwischen Form und Transportart deutlich machen. Da wird der Schüler herausfinden, daß die Steine am ersten Ort nur kantenbestoßen sind, daß viele von ihnen Ritzen aufweisen oder eine einseitige Schliffläche haben. Er wird im weitern schließen können, daß solche Formen vom Transport auf, im oder unter dem Eise herrühren. Bei den Geröllen, die wir am zweiten Orte finden, wird die Tatsache festzustellen sein, daß sie eine viel bessere Rundung aufweisen, und daß dieses allseitige Abschleifen durch Wassertransport zustande kam, die Gerölle also in einer Umgebung verfrachtet wurden, wo der Stein größere Eigenbewegung hatte und oft auch in Drehung versetzt wurde durch steilfallendes Wasser in kleinen Rinnsalen. Solche Transportverhältnisse waren da gegeben, wo durch Schmelzwasser die Abschwemmung der End- und Seitenmoränen erfolgte. Endlich am dritten Ort, auf der Thurkiesbank, ergibt sich als Resultat der Formenbetrachtung, daß hier die flachen Gerölle in großer Zahl vorhanden sind. Der Schluß, daß auch hier Wassertransport ihnen die Form gegeben hat, ist augenscheinlich; ebenso daß das Abschleifen nicht mehr durch Roll- und Drehbewegung, sondern durch Gleitbewegung entstanden ist. Ja, man kann noch sagen, daß

diese Form zustande kam in einem Wasserlauf mit großer Wassermenge und kleinem Gefälle. Lassen wir dann die Schüler noch solche Steine suchen, die durch ihre bizarre Form auffallen. An diesen läßt sich erkennen, wie auch die verschiedene Härte einzelner Gesteinspartien formengebend sein kann. Durch seine Gestalt allein hat uns also der Stein schon allerlei sagen können.

Eine andere Erscheinung, die an den Steinen leicht festzustellen ist, sind die Farben. Jede Kiesgrube und jeder Steinhaufen kann dafür Exkursionsziel sein. Zunächst lassen wir die Schüler Farbenhäufigkeitszählungen machen. Diese werden die Tatsache ergeben, daß die Farben grau-schwarz, gelbbraun-rot und grün dominierend sind. Diese Farben zu deuten wird voraussetzen, daß die Schüler etwas mit chemischen Vorgängen vertraut sein müssen. Ein alpines Malmkalkgerölle, das schon jahrelang herumgelegen ist, wird oberflächlich weiß und innen schwarz sein. Daß sich hier ein Verwitterungsvorgang, ein Oxydationsprozeß abgespielt hat, wobei ein Endprodukt, nämlich Kohlensäure und mit ihm die schwarze Farbe verschwunden ist, wird der Schüler schon verstehen können; also muß Kohle als Ausgangsprodukt und färbender Bestandteil im Stein vorhanden sein. Die Farbenabstufungen von grau bis schwarz bedeuten lediglich eine schwächere bis stärkere Imprägnation von kohliger Substanz. Die Antwort, wie diese Kohle in den Stein geraten ist, wird zu der Erkenntnis führen, daß Steine mit schwarzer Farbe durch Absatz oder Sedimentation entstanden sind.

Durch die Schüler lassen wir nun rote und grüne Steine zusammentragen; vielleicht ist dann darunter gerade ein Stück Grünsandstein, wo beide Farben im gleichen Stück vorkommen. Verwitterungsvorgang und zwar Verrosten, also einen Oxydationsprozeß, wird hier auch der Schüler herausbringen. Der weitere Schluß auf Eisen in Sauerstoffverbindung als Edukt liegt dann nicht zu weitab. Der Eisennachweis kann ja dann noch durch die bekannten Reaktionen vorgeführt werden. Es ist im weitern anzunehmen, daß aus der Betrachtung des grünen Kernes und der roten Rinde der Schüler erkennt, daß in jener Partie weniger und in dieser stärker oxydiertes Eisen vorkommen muß. Indem man durch den Schüler das spezifische Gewicht

von einem hellfarbigen und einem dunkelgrünen Stein bestimmen läßt, kommt in der höhern Zahl der zweiten Bestimmung ebenfalls zum Ausdruck, daß hier der Gehalt an Eisen die Ursache ist. Lehrreich in dieser Beziehung ist auch eine Zusammenstellung von farblosem Calcit, gelblich weißem Calcit, gelbem Ankerit, braungelbem Siderit zu braunrotem Eisenspat. Das zunehmende spezifische Gewicht ist eine Funktion des Eisengehaltes. Die Farbtönung von gelb zu rot zeigt in allen Steinen einen zunehmenden Eisengehalt an. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß rote und grüne Farben im Gestein eine Funktion des Eisengehaltes sind. Wichtige Erkenntnisse ergeben sich auch aus der Farbenverteilung im Stein. Vielfach wird man mit bloßem Auge oder dann mit der Lupe erkennen können, das einzelne Partien die Farbenträger sind. Wir stellen dann fest, daß der Stein nicht eine homogene Masse bedeutet, sondern zusammengesetzt ist aus Gemengteilen, die sich eben in Farben, aber auch noch in andern physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Soweit diese Eigenschaften als einheitlich erkennbar sind, soweit erstreckt sich das Bauelement des Steines, nämlich das Mineral. An Steinen mit geschliffener und benetzter Oberfläche und einer frischen Bruchfläche lassen wir die Schüler feststellen, wieviel solcher verschiedener Mineralien sie erkennen können. Gut ist es auch, wenn man einige Dünnschliffe zur Beobachtung vorlegen kann. Zunächst gilt die Aufmerksamkeit ganz der Form der Einzelmineralien. Es liegen dann drei Möglichkeiten vor: 1. Sie sind gerundet. 2. Sie sind eckig, bruchstückartig. 3. Sie zeigen gesetzmäßige geometrische Schnittflächen. Die ersten zwei Möglichkeiten ergeben eine Trümmerstruktur und die letzte eine Kristallstruktur. Die Frage nach dem Woher dieser Formen führt uns zum Problem der Entstehung und damit auch zur ersten Einteilung. Die Ueberlegung sagt uns, daß die Kristallstruktur die primäre sein muß; denn die Homogenität des Minerals kommt nur zustande durch freie Beweglichkeit seiner Bauelemente und nachheriger gesetzmäßiger Anlagerung, die auch außen an den Grenzen, eben in den Kristallflächen noch Geltung haben muß. Ein Mineral in Bruchstückform kann also nicht da entstanden sein, wo wir es vorfinden.

Gesteine mit Kristallstruktur setzen freie Beweglichheit der Aufbaustoffe voraus. Diese Bedingung ist erfüllt durch den flüssigen, gelösten oder gasförmigen Zustand. Stellen wir uns nun einen Granitblock in seinem Ausmaß von mehr als 100 km^3 vor, so wird bald einzusehen sein, daß für seine Aufbaustoffe nur der flüssige Zustand in Frage kommen kann. Solche schmelzflüssige Massen bezeichnet man als Magmen und der Ort, wo sie Bestand haben, ist eine bestimmte Erdtiefe, die ja vom Schüler selber ausgerechnet werden kann. Bei vulkanischen Ausbrüchen kommen ja auch solche Magmenteile zum Vorschein; Erstarrung zum kristallinen Gestein ist da bedingt durch Abkühlung, und diese ist gegeben durch das Wandern des Magmas in äußere Erdrindenteile. Die Abkühlung allein führt aber noch nicht zur Bildung eines vollkristallinen Gesteins, was wir ja bei der Lava oder etwa bei Ziegeln in der Brennerei erkennen können; das Erstarrungsprodukt ist eine glasartige Schlacke. Es sind also noch andere Kristallisationsbedingungen notwendig, die hier an beiden Orten fehlen. Eine davon liegt in der Zeit, sodaß also sehr langsame Abkühlung Bedingung ist. Aus verschiedenen Anzeichen ergibt sich der Schluß, daß für einen Granitstock mittlerer Größe diese Zeit etwa hunderttausend Jahre betragen muß. Daß somit die Erstarrung des Magmas nicht an der Erdoberfläche geschehen konnte, ist leicht einzusehen. Der Vorgang mußte unter schützender Sedimenthülle vor sich gehen. Beobachtungen an Granitstöcken deuten darauf hin, daß unter günstigen Umständen diese Hülle nicht viel dicker als 400 m zu sein braucht. Ein wichtiger Faktor bei der Bildung vollkristallener Gesteine ist der große hydrostatische Druck und der Gasgehalt des Magmas, indem dadurch schwer- u. leichtflüchtige Stoffe ineinander gelöst sind u. der sonst zähe Schmelzfluß die notwendige Beweglichkeit in den Molekülen besitzt. Je nachdem diese Faktoren beim Bildungsprozeß die ganze Zeit über oder nur zeitweilig wirksam sind, entstehen Kristalle gleicher oder ungleicher Größe. Der allseitige Druck zeigt sich im richtungslosen Gefüge der Kristalle. Bruch- und Schliffläche spiegeln so den Werdegang des kristallinen Steines. Wo immer in Steinen drin Kristalle mit regellosem Gefüge auftreten, ist vorangegangener schmelz-

flüssiger Zustand Bedingung. Wir bezeichnen damit diese Hauptgruppe von Steinen als Erstarrungs- oder Magmengesteine. Eine Sammlung von solchen Gesteinen, durch die Schüler angelegt, wird wahrscheinlich noch Stücke enthalten, die nicht hieher gehören, und die dann Gelegenheit geben, zu erklären, warum sie nicht hieher gehören.

Bei den Steinen, wo die Mineralien Trümmerstruktur aufweisen, wird man also auf den Gedanken kommen müssen, daß sie nicht hier entstanden, sondern in Bruchstückform oder rund zugeführt worden sind. Die Entstehung beruht also auf Absatz, Ablagerung oder Sedimentation. Der Bildungsprozeß des Steines ist in diesem Falle ein ganz anderer; es handelt sich um einen physikalischen Vorgang, der den Schülern durch Experiment und Beobachtung noch deutlich gemacht werden kann. Wir haben in den Steinen mit Trümmerstruktur eine zweite große Gruppe vor uns, die Sedimentgesteine. Zu ihr gehören aber auch noch Steine, die die genannte Struktur nur im Dünnschliff, oder gar nicht zeigen. Eine matte, erdige bis splitterige Bruchfläche zeigt uns an, daß ein Gemenge von winzigen Einzelteilchen vorliegt. Die Homogenität und Konstanz physikalischer Eigenschaften kommt nicht zur Geltung. Im wirren Durcheinander und in dichter Packung dieser Teilchen zeigt sich hauptsächlich die Wirkung der Oberflächenenergie in Verbindung mit den wirkenden chemischen Kräften des kolloidalen Zustandes. Es handelt sich hier auch um Sedimentation, aber nicht oder weniger um mechanischen Absatz, sondern um Ausflockung aus dem Dispersionsmittel, dem Wasser. Die hier in Betracht fallenden Gesteine bezeichnen wir als chemische Sedimente. Bildungsbereich der Sedimente ist das Wasser und zwar im besondern das Meerwasser. Dieses ist aber auch die Urheimat der Lebewesen. Wir müssen uns darum nicht wundern, daß auch diese am Werden dieser Steine teilhaben und uns als Fossilien zu Gesicht kommen, nachdem sie in ihren Formen Jahrmillionen in Stein konserviert worden sind. Ihre Erhaltung ermöglicht es uns, das Bild von der Entwicklung der Lebewesen auszubauen. Die fossilreichen Sedimente sind in der Erdgeschichte die Blätter mit dem besten deutbaren Text.

Die Sedimentgesteine machen in unsern Kiesgruben etwa 80 % der Gerölle aus. Daneben sind 4—6 % magmatische Gesteine, und der Rest von 16%—14% bildet nun die dritte große Hauptgruppe. In diesen Steinen tritt besonders ein Bildungsfaktor in Erscheinung, der in den beiden andern Gruppen keine hervorragende Rolle spielt. Es ist das der einseitig gerichtete Druck. Bei den Sedimentgesteinen bleibt er relativ klein und bei den Erstarrungsgesteinen ist der Druck wohl groß, aber allseitig, so daß er weniger formenbildend sein kann. Hier in der dritten Gruppe aber wird er vorherrschend, so daß er in der Bruchfläche zum Ausdruck kommt. Wir nennen diese Erscheinung Schieferung. Die Gemengteile oder Mineralien zeigen nicht mehr richtungloses Gefüge; sondern sie passen sich in ihrer Lage dem einseitig wirkenden Druck an; sie liegen in Ebenen senkrecht zur Druckrichtung. Der Hauptcharakter liegt nicht in einer direkten Bildung des Steines; sondern in einer Umbildung oder Metamorphose bereits vorhandener Mineralien. Sie heißen metamorphe Gesteine und sind entweder aus Sedimenten oder Erstarrungsgesteinen hervorgegangen. In ihrem Umbildungsprozeß spielt sich auch Kristallisation ab. Diese ist zunächst Abbau durch minimale Auflösung an Stellen größten Druckes und Anlagerung an Stellen geringsten Druckes, also in der Richtung der Schieferung. Es muß also hier besonders zur Bildung flächenhafter, schuppiger Mineralien kommen.

Alle Steine lassen sich nun einer dieser drei Hauptgruppen zuordnen. Auf einer weitern Exkursion können dann in jeder beliebigen Kiesgrube Bestimmungsübungen vorgenommen werden; denn von allen drei Sorten sind Exemplare zur Genüge vorhanden. Die große Mannigfaltgikeit in jeder Gruppe macht weitere Einteilung und Benennung notwendig.

Die Namengebung bei den Sedimentgesteinen stellt weniger auf den Mineralbestand ab, so daß hier die Besprechung der Einzelmineralien noch nicht notwendig wird.

Indem wir daran denken, daß unser Gesteinsmaterial aus dem Einzugsgebiet des Rheingletschers stammt, also die

südöstlichen Gebiete der Schweiz als Heimat in Betracht kommen, sollen nun in einer Tabelle die wichtigsten Gesteinsarten zusammengestellt werden.

Sedimentgesteine.

a. Chemische Sedimente.

Kalkstein		**Dolomit**	**Hornstein**
lassen sich ritzen			*nicht*
Bruch: spätig		*sandig, erdig*	*splitterig*
verwitterte Oberfläche	*karrig*	*mehlig-staubig*	
	gatt	*sandig*	

Kalksteine

Name	Aussehen	Vorkommen als Fels
Süßwasserkalk	*grauweiß gelblich*	*Molassegebiet*
Schrattenkalk	*gelblichbraun graubraun*	*Säntis, Kurfirsten*
Kieselkalk	*blaugrau hart*	*Säntis Kurfirsten*
Malmkalk	*schwarz-grauschwarz dicht*	*Alvier Calanda*
Steinsbergerkalk	*gelbbraun-braunrötlich*	*Arosergebiet südöstl. Oberhalbstein*

Dolomite.

1. Rötidolomit	*gelb-gelbrot*	*St. Galler Oberland*
2. Hauptdolomit	*blaugrau-grau*	*Arosergebiet Ducangebiet*
Hornsteine	*rot u. grün gebändert*	*südöstl. Oberhalbstein*
	rot	*„ „*
	schwarz	*Arosergebiet*

b. Mechanische Sedimente.

Trümmer		Bindemittel	Name	Vorkommen als Fels
klein	*rund*	*tonig*	*Tonsandstein*	*unser Gebiet*
„	*rund*	*kalkig*	*Kalksandstein*	*Appenzellerland*
„	*Muscheln*	*kalkig*	*Seelaffe*	*Rorschach*
„	*Glaukonit*	*kalkig*	*Grünsandstein*	*Fähnern Säntis*
„	*rund*	*kieselig rot*	*Buntsandstein*	*Arosergeb.,Mels*
groß	*rund*	*kalkig*	*Nagelfluh*	*Appenzellerland*
„	*rund*	*kieselig rot*	*Verrucano*	*St. G. Oberland*
„	*eckig*	*„ „*	*Verrucano*	*Arosergebiet*
klein	*eckig*	*kalkig od. kies.*	*Breccien*	*Schams*

Fossilien sind in den Geröllen selten anzutreffen. Hie und da kann ein Stück Nummulitenkalk gefunden werden.

Für die beiden andern Hauptgruppen wird es nun eigentlich notwendig, die wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien kennen zu lernen; denn die Benennungen hängen vom Mineralbestand ab. Sämtliche physikalische und chemische Eigenschaften eines Minerals werden die Unterscheidungsmerkmale geben. Da aber bei unsern Bestimmungen die Mineralien stets im Gesteinsverband vorkommen, sollen nur die erwähnt werden, welche makroskopisch oder dann mit der Lupe erkannt werden können.

Quarz zeigt meistens Körnerform; ist im Aussehen glasig und farblos.

Kalifeldspat oder Orthoklas erscheint in unsern Gesteinen mattweiß, rötlich bis rot in etwas tafeligen Aggregaten.

Kalknatronfeldspat oder Plagioklas mattweiß, grünlich bis grün; in einer Schliffläche treten Leisten und Rechteckformen auf.

Biotit oder dunkler Glimmer bildet metallisch braungelbglänzende Blättchen.

Muskorit oder heller Glimmer metallisch silberweiß glänzende Blättchen.

Sericit silberweiße Schüppchen auf Schieferungsflächen einen Seidenglanz erzeugend.

Chlorit grüne staubige Schüppchen.

Graphit schwarz staubförmig.

Hornblende langprismatisch, stengelig bis nadelig, mit grüner bis dunkelgrüner Farbe.

Augit kurzprismatisch, schwarz bis schwarzgrün.

Epidot in stengeligen bis faserigen Aggregaten zeisiggrün; meist in Adern und Bändern.

Granat braunrote Körner.

Turmalin, stengelig, manchmal in radialstrahligen Aggregaten braunschwarz bis schwarz.

Serpentin dicht; schwarzgrüne Massen bildend.

Für je eine Mineralgruppe von 3—4 Mineralien werden die Merkmale an die Tafel geschrieben und dann Steine ausgeteilt, die ein oder mehrere davon enthalten. Haben die Schüler im Erkennen und Bestimmen der Mineralien einige Sicherheit erlangt, dann kann man ihnen eine Zusammenstellung der

vorkommenden magmatischen Gesteine in Form der nachfolgenden Tabelle an die Wandtafel hängen und die früher gesammelten Erstarrungsgesteine zur Bestimmung austeilen.

Vorausgehend wird eine kurze Repetition über die Entstehung dieser Gesteine am Platze sein.

Magmatische Gesteine.

Mineralbestand	Name	Vorkommen als Fels
Quarz+Feldspat+Biotit	*Granit*	
„ „ grün „	*Juliergranit*	*Piz Julier*
„ „ rot „	*exotischer Granit*	*Unterostalpine Decke*
„ „ +Hornblende	*Punteiglasgr.*	*nördl. Vord.rheint.*
„ „ groß „	*Granitporphyr*	*„ „*
„ „ grau+Biotit	*Kristallinagranit*	*Lugnetz*
„ grau+Muskovit groß groß bläulich	*Pegmatit*	*Somvix*
Quarz+Feldspat wenig Glimmer	*Aplit*	*In Gängen aller Granitkörper*
„ „ +Biotit Einsprengl. Masse grünlich	*Quarzporphyr*	*Bergün*
Quarz+Feldspat+Hornblende	*Rofnaporphyr*	*Rofna*
Feldspat+Hornblende	*Diorit*	*Nords. V'rheinth.*
Feldspat+Angit grün metallischbraun	*Gabbro*	*Oberhalbstein*
Feldspat+Grundmasse grüne Einspr. grünschwarz	*Porphyrit*	*Arosergebiet*
grüne feinkrist. Grundmasse mit roten Erzadern	*Spilit*	*Oberhalbstein*

Nicht alle diese Steine treten gleich häufig auf. Am ehesten findet man in Kiesgruben Juliergranit, rote Granite, Diorit und Spilit. Gabbro und Porphyrite sind mir namentlich in Seiten- und Grundmoränen zu Gesicht gekommen. Wahrscheinlich werden eine Anzahl Durchmusterungen von Aufschlüssen notwendig sein, bis man die Reihe vollständig beisammen hat.

Für die dritte Hauptgruppe, die metamorphen Gesteine haben die Schüler bereits das Material zusammengetragen, das aber noch einer Durchsicht bedarf, weil meistens noch Stücke dabei sind, die zu den Sedimentgesteinen gehören. Sie sind wohl schiefrig; aber der Druck vermochte ihre Sedimentnatur

nicht zu verwischen; es hat durch ihn keine durchgreifende Ummineralisierung stattgefunden. Ich denke da besonders an Quartenschiefer, Flyschschiefer, Schiltkalk und gefältelten Kalkstein aus dem Gebiet der Viamala. Im übrigen wird die Behandlung die gleiche sein wie bei der vorherigen Gruppe, und es werden sich die zugehörigen Steine mit Hilfe der nachstehenden Tabelle bestimmen und benennen lassen.

Metamorphe Gesteine.

Mineralbestand	Name	Vorkommen als Fels
Quarz+Sericit viel wenig	*Glimmerquarzit*	*Splügen*
Sericit+Chlorit dünnschiefrig	*Chloritphyllit*	*Vals*
Sericit+Graphit dünnschiefrig	*Graphitphyllit*	*Safiertal*
Sericit+Quarz+Calcit dünnschiefrig	*Kalkphyllit*	*Vals*
Quarz+Muskovit Quarz+Biotit	*Glimmerschiefer*	*Süds.V'rheinth.*
Quarz+Chlorit etwas gröber schiefrig	*Chloritschiefer*	*Vals*
Quarz+Feldspat+Biotit	*Biotitgneis*	*Vals*
Quarz+Feldspat+Biotit bildet Augen	*Augengneis*	*Davosergebiet*
Quarz+Feldspat+Biotit und Muskovit	*Zweiglimmergneis*	*Davosergebiet*
Quarz+Feldspat+Hornbld.	*Hornblendegneis*	*Vals*
Quarz+Feldspat+Peugit grüner Muskovit	*Adulagneis oft m. Augen*	*Hinterrheintal*
Feldspat+Hornblende mit Epidot	*Amphibolit*	*Sertigtal*
	Epidot amphibolit	„
Feldspat+Hornblende mit Granat	*Granatamphibolit*	*Vals*
Quarz+Feldspat	*Granulit*	*Vals*
Serpentin	*Serpentin*	*Oberhalbstein*
Serpentin+Calcit	*Ophicalcit*	*Stallerberg*

Auch von dieser Gruppe werden in einer Kiesgrube einzelne Steine immer zu finden sein, während andere nur selten auftreten. Amphibolite, Glimmerschiefer, Biotitgneise, Zweiglimmergneise und Adulagneise zeigen die größte Häufigkeit. Daß die Geröllführung für die verschiedenen eiszeitlichen Ablagerungen nicht die gleiche sein wird, ist wohl leicht einzusehen; wie aber diese Unterschiede zum Ausdruck kommen, darüber kann ich noch kein Urteil geben; denn die Untersuchungen in dieser Hinsicht sind erst im Anfangsstadium.

Geleitet von dem Gedanken, etwas mitzuhelfen, unsere heranwachsende Jugend hinzuweisen auf stille Wege der Natur und sie anzuleiten, durch eigenes Suchen und Forschen sich ein geistiges Eigentum zu schaffen, habe ich diese Ausführungen geschrieben. Ich bin mir aber wohl bewußt, wie unzulänglich das in Worten Ausgedrückte ist, und wie notwendig in solchem Falle das Vorweisen der Dinge wird. Vielleicht bringt der nächste Fortbildungskurs Gelegenheit, einen Exkursionsnachmittag mit solcher Zweckbestimmung einzuschalten.

Das Auge als optischer Apparat.

Lektion in Schülerübungen mit Benutzung des Kosmosbaukastens Optik.

Von *Wilh. Fröhlich,* Kreuzlingen.

Es wird vorausgesetzt, daß die Schüler vor Beginn dieser Lektion mit dem anatomischen Bau des Auges an einem Wandbild und einem Tierauge vertraut gemacht worden sind und Begriffe wie Hornhaut, Aderhaut, Netzhaut, Regenbogenhaut, Pupille, Linse etc. kennen.

Wir haben nun zu untersuchen, welche Aufgabe die Linse im Auge erfüllt.

1. Vergleicht die Linsen des Baukastens Optik nach ihrer Form mit der Augenlinse. Unter den fünf Linsen ist eine, die besonders der Augenlinse gleicht. Diese ist wie die Augenlinse eine biconvexe Linse. Wozu braucht man solche Linsen oft? Studiere die Verwendung der biconvexen und der planconvexen Linse in der Verwendung als Vergrößerungsglas. Beide vergrößern dahinter gehaltene Schrift.

2. Die beiden Linsen können außer als Vergrößerungsgläser auch in der Art des folgenden Versuches Verwendung finden. Wir stellen eine Linse ans Ende des kurzen Deckels und im Abstand der Brennweite dahinter einen Kartonschirm. Das Ganze richten wir gegen das helle Fenster und sehen auf dem Schirm die Landschaft abgebildet. Der Schirm ist zu verschieben bis das Bild am deutlichsten wird. Die Linse entwirft in einfacher Brennweite ein umgekehrtes verkleinertes Bild.

3. Besser läßt sich dieses Bild beobachten, wenn man an Stelle des Kartonschirmes eine matte Glasscheibe setzt und das Ganze mit dem zweiten Deckel zudeckt. Diese Einrichtung gleicht dem *Photographenapparat.*

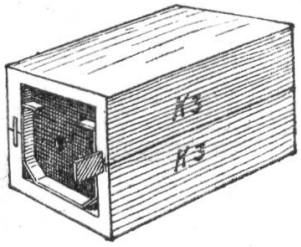

Abb. 1

4. Man richte den Apparat auf die 40 cm weit entfernte Flamme. Wie muß man den Abstand von der Linse zur Mattscheibe verändern, um die Flamme deutlich zu sehen? Dieses Verändern der Abstände je nach der Entfernung nennt der Photograph „Einstellen".

Wie wird der Abstand Linse-Mattscheibe bei der Abbildung ferner und wie bei der Abbildung naher Gegenstände?

5. Man vergleiche die Deutlichkeit des Bildes in der Mitte und nahe dem Rande der Mattscheibe. Das Bild ist nur in der Mitte deutlich. Wir setzen vor die Linse den schwarzen Karton mit dem runden Loch. Jetzt ist das Bild viel deutlicher allerdings auch düsterer. Mit einem Photographenapparat mit kleiner Blende könnte man keine Momentaufnahmen mehr machen. Bei hellem Wetter kann man die Blende verkleinern, bei trübem Wetter muß sie größer genommen werden.

Die Regenbogenhaut unseres Auges ist eine solche Blende, die ihre Oeffnung selbsttätig, je nach der ins Auge tretenden Lichtmenge verengert und erweitert. Wann ist die Oeffnung in der Regenbogenhaut, die Pupille, groß und wann klein?

6. Auch sonst gleicht das Auge dem Photographenapparat. Es ist ein dunkles Kämmerchen, das in der Vorderwand eine Linse besitzt, die auf der Rückwand ein Bild der Umwelt entwirft. Die Netzhaut mit dem gelben Fleck spielt die Rolle der Mattscheibe im Photographenapparat.

Wir erstellen mit Benutzung des in der Anleitung zum Optik Baukasten enthaltenen Augenquerschnittes ein Modell des Auges mit Linse und Blende. Vorerst wird die runde

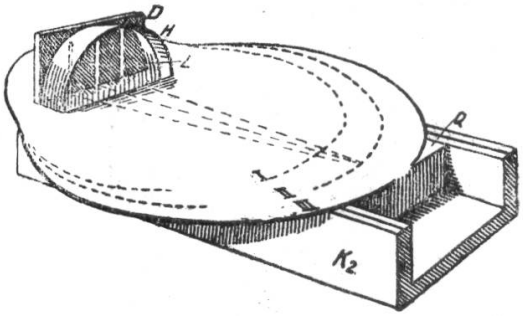

Abb. 2

Blende nochmals weggenommen und durch die Dreistrahlblende ersetzt. Der ganze Apparat wird so gehalten, daß die Sonnenstrahlen streifend über das Papier hin laufen. Man sieht, daß sich die Strahlen jetzt auf dem normalen mittleren Abstande des Augenhintergrundes sammeln (in Abb. 2 mit II bezeichnet).

7. An dieser Stelle muß die Linse ein deutliches Bild der Landschaft entwerfen. Man sieht dieses Bild, wenn man auf der Augenbegrenzung II die Mattscheibe aufstellt. Das Bild ist verkleinert und umgekehrt.

8. Nun kann es vorkommen, daß das Auge zu lang ist, wie etwa die innere Augenbegrenzung auf dem Modellbild bei I angibt. Dann sind dort die Strahlen noch nicht vereinigt, und dort entsteht, wie man sich durch Aufsetzen der Mattscheibe an dieser Stelle überzeugt, kein deutliches Bild.

9. Damit die Strahlen sich schon früher sammeln, setzt man vor das Augenmodell noch eine flache Linse samt Fassung. Jetzt sammeln sich die Strahlen im vorderen Augenbegrenzungspunkt. Die nach Wegnahme der Dreistrahlblende dort aufgestellte Mattscheibe zeigt jetzt im Gegensatz zu vorhin ein deutliches Bild. So ist das zu kurze Auge durch Vorsetzen einer Linse als *Brille* wieder zu deutlichem Sehen gelangt.

10. Das Auge kann aber im Verhältnis zur Brennweite der Augenlinse auch zu lang sein, siehe hintere Augengrenze III des Modelles. Dann kommen die Strahlen zu früh zusammen und geben wieder kein deutliches Bild. Wo vereinigen sich aber die Strahlen, die von dem in 40 cm Entfernung aufge-

stellten Lämpchen ausgehen? Sie vereinigen sich weiter hinten. Die auf der hinteren Augengrenze aufgestellte Mattscheibe wird ein deutliches Bild der Flamme ergeben. Daraus ersehen wir, daß das zu lange Auge im allgemeinen nicht deutlich zu sehen vermag, doch werden sehr nahe gelegene Gegenstände gleichwohl deutlich abgebildet. Leute mit solchen Augen müssen die Gegenstände sehr nahe besehen, sie sind *kurzsichtig*. Leute mit den in Versuch 8 genannten Augenfehlern sind dagegen *weitsichtig*.

Wie hält der Großvater die Zeitung, wenn er ohne Brille lesen will?

11. Mit welcher Linse könnte der Fehler der Kurzsichtigkeit behoben werden? Da sich die Strahlen zu früh, vor dem Augenhintergrund, sammeln, soll man sie durch Vorsetzen einer schwachen Zerstreuungslinse zuerst etwas auseinanderbiegen, damit sie von der Augenlinse erst weiter hinten gesammelt werden können. Als schwach zerstreuende Brille dienen uns die zu einer Doppellinse zusammengestellte Konkav- und Konvexlinse. Jetzt, nach dem Vorsetzen dieser Brille, sieht man auf der Grenze des zu langen Auges ein deutliches Mattscheibenbild.

12. Beobachte nach der Art der getragenen Brillen, ob Mitschüler oder Erwachsene deiner Umgebung kurzsichtig oder weitsichtig sind.

13. Statt dem kurzsichtigen Auge vorzuwerfen, daß es zu lang sei, kann man eben so gut sagen, daß die Brennweite seiner Augenlinse zu kurz sei, was wiederum davon herrührt, daß die Linse im Auge zu stark gewölbt ist. Um sich einen Begriff zu machen, wie einem Kurzsichtigen zu Mute ist, wenn er seine Brille nicht hat, setzen wir die schwache Sammellinse vor das Auge. Dieses wird dadurch künstlich kurzsichtig und kann die Gegenstände nur noch erkennen, wenn es sich ihnen stark nähert, Schrift an der Tafel kann es nicht mehr lesen.

14. Weil das normale Auge mit mittlerem Augenwandabstand nahe Gegenstände nur mit einer Linse kürzerer Brennweite, also stärkerer Wölbung, deutlich abbilden kann, hat die Augenlinse die Fähigkeit sich zur Be-

trachtung naher Dinge durch die Zusammenziehung des Linsenmuskels stärker zu wölben. Wenn wir in den Ausschnitt des Augenmodells die Fassung mit der durch die flache Linse verstärkten Linse stellen, haben wir ein Modell des auf die Nähe eingestellten Auges. Ohne die Zusatzlinse ist es für die Ferne eingestellt. Man suche mit diesem Auge das Bild der nahen Lampenflamme.

15. Wir betrachten nacheinander, doch nicht zu oft, den vor die Augen gehaltenen Finger und dann wieder die dahinter liegende Wandtafel. Wir spüren die Tätigkeit des Linsenmuskels in einer leichten Ermüdung. Warum kann man nicht Finger und Wandtafel gleichzeitig deutlich sehen?

Vergleiche den Einstellvorgang des Auges mit dem des Photographenapparates.

Bemerkungen zum Geschichtsunterricht.

Von *H. Aebli,* Amriswil.

Mancherlei Klagen sind in den letzten Jahren gegen die Geschichte als Unterrichtsfach erhoben worden: Sie übersteige die Fassungskraft der Schüler, weshalb dann nichts in den jungen Hirnen zurückbleibe als etwa ein wortreicher Dünkel; fast immer aber seien die Ergebnisse im Verhältnis zur aufgewendeten Mühe armselig und dürftig; infolge der widerspruchsvollen Auffassung der Historiker und der tendenziösen Darbietung durch Bücher und Lehrer stifte sie oft nur Wirrwarr in den jugendlichen Köpfen, führe statt zur Klarheit ins Dunkel; ihre Wirkung sei sogar direkt unmoralisch, wenn sie statt der Wahrheit nationalistischen und parteipolitischen Zwecken diene; auch mit den Lehren der Geschichte sei es nichts, die Ideale der Vergangenheit könnten höchstens einen kritischen Maßstab für die Gegenwart bilden, hätten aber keinen Wert als praktische Forderungen für den heutigen Tag; besser sei es, statt die Blicke sehnsüchtig in die Vergangenheit zu lenken, dem Augenblick und der Tat zu leben. „Jede Stunde der Gegenwart fordert Verantwortung; die Zukunft wird nur *der* gestalten helfen, der in der Gegenwart mit allem Sinnen, Sehnen und Wirken tätig ist, nicht der Freund versunkener Trugbilder.“ (W. Illing)

Das stimmt allerdings: Die Geschichte in Büchern und die Geschichte in der Schule bietet häufig, allzu häufig, nicht die Wahrheit. Es besteht ein eigentümlicher Hang im Menschen nach dem Erleben des Gegensatzes, — ein Drang nach dem Fremden als einer Ergänzung seines Wesens —: Ist die

Gegenwart schlecht, die ruchloseste und verdorbenste aller Zeiten, so zaubert der Mensch sich aus Wünschen, Hoffnungen und Befürchtungen eine Fata morgana vor die Seele: Die Vergangenheit leuchtet in einem rosigen Schimmer; der Geschichtschreiber aber wird zum laudator temporis acti: Das Paradies der Menschheit liegt in jenen längst verflossenen Zeiten; mit einer unausrottbaren Sehnsucht im Herzen hält der Mensch Ausschau nach den Glanzperioden der Geschichte. Er bewundert die erhabene Kunst des griechischen Genius, die Kraft altrömischen Staatslebens, die sittliche Strenge des Germantentums, die ritterliche Romantik und die Glaubensinbrunst des Mittelalters u. s. f. Und umgekehrt: Ist die Gegenwart eine Zeit des Aufstieges, der berauschenden Erfolge, nie geahnter Rekorde, ist der Optimismus die vorherrschende Geistesstimmung, dann schaut man die Vergangenheit in trüben, dunkeln und düstern Farben, dann ist alles Vergangene ein längst überwundener Standpunkt, dann spricht man nur vom „finstern" Mittelalter, und freut sich bei Kino und Radio, „wie man's so herrlich weit gebracht".

Aus diesem psychischen Trieb stammen die beiden Hauptfehler, die fast aller Geschichtschreibung anhaften. Einmal hat sie die Neigung, die Begebenheiten wie die handelnden Personen in ihrer Bedeutung zu übertreiben; mit Vorliebe erzählt sie das Auffallende, Krasse, Unerklärliche und Abnormale, was im Strom des Geschehens doch nur einen kleinen Ausschnitt bildet. Man bestaunt die hohe Welle mit dem schaumgekrönten Gipfel und bemerkt die kleine Welle nicht und was in den verdunkelten Tälern vor sich geht. Zum andern besteht das Bestreben, die Motive menschlichen Handelns und damit deren Träger entweder zu idealisieren oder zu entidealisieren — „von der Parteien Haß und Gunst verzerrt". — Die Taten Einzelner erscheinen als Ausflüsse edelster Beweggründe, der Menschenliebe, des Opfermutes, der Frömmigkeit; man feiert sie als Heroen und Heilige; doch in Wahrheit ist ihr Tun oft nur aus der Verzweiflung, den Umständen, dem Einfall des Augenblicks oder der Abenteuerlust geboren; trotzdem macht man häufig ein großes Wesen aus diesen Menschen, preist sie als völkische und

religiöse Helden, als die echten „Exponenten des Wesens ihrer Nation“, bis eines Tages der Glorienschein zerflattert, und ihre Einschätzung auf des normale Maß reduziert wird. Auf der andern Seite stehen die großen Missetäter, die verworfenen Bösewichter, die verkannten Größen: Da bemerken wir heute das Bemühen, solche Gestalten nach ihren tatsächlichen Leistungen zu würdigen (O. Cromwell), man versucht Ehrenrettungen und trachtet gar darnach, den Mohren weiß zu waschen (Catilina). Gleichviel: Bei diesem Kultus der hervorragenden Figuren — in positivem oder negativem Sinn — übersieht man häufig die wahren Helden, die stillen Wohltäter, die eigentlichen Urheber des Fortschrittes, die zeitlebens mißverstanden, verachtet, verstoßen, oft getötet worden sind, deren Leben und Lehre uns wie das wache Gewissen der Menschheit erscheint; man vergißt oft das Volk, welches doch die Grundlage aller Geschichte bildet; man denkt so selten an die Tragödie der kleinen, vom Schicksal zerriebenen Existenzen, wenn die Großen dieser Welt über die Bühne schreiten. Wer stellt sich bei der Betrachtung der glänzenden Fassade der griechisch-römischen Kultur vor, daß hinter ihr das Meer des Jammers und Elendes der antiken Sklaverei liegt! Man darf wohl behaupten, daß erst die neuere Geschichtsforschung, zum Teil in mühsamer Kleinarbeit, zum Teil in genialer Einfühlungsfähigkeit, bestrebt ist, die gleißnerischen Hüllen vom alten Geschichtsbild zu entfernen und zum Wesen und wahren Verständnis der geschichtlichen Entwicklung vorzudringen.

Gewiß, Geschichte in diesem Sinn, als Dienst an der Wahrheit, ist keine leichte Wissenschaft, ist sicher „keine Wissenschaft für Kinder, nicht einmal für die Masse der Erwachsenen“; aber ist es nicht auch so mit andern Wissenschaften? Und doch gibt es naturwissenschaftliche, mathematische, technische wie historische Erkenntnisse, die vom Kinde erfaßt werden können, an denen es seine Kräfte üben und stärken kann. Kinder können also sicherlich keine Geschichts-„wissenschaft“ treiben. Nehmen wir einmal an, dieser Umstand, wie auch die eingangs erwähnten Argumente, veranlassen uns, die Geschichte überhaupt aus der Schule zu entfernen. Welche Wirkungen hätte diese Maßregel? Wir versuchen, uns in die

Seele eines 15-jährigen Kindes zu versetzen, das von der Geschichte gar nichts gehört hat. Haben wir nicht das schmerzliche Gefühl einer Verstümmelung seines geistigen Wesens? Die Vergangenheit liegt hinter der Seele dieses Kindes wie ein dunkler Raum, der es erschreckt, und der seine Phantasie beschäftigt wie ein geheimnisvolles Etwas. Und da müssen wir uns fragen: Wie gelangen wir dazu, aus diesem Kinde einen Menschen, wie es unser Erziehungsziel fordert, zu formen, den zivilisierten, den sozialen Menschen, der nicht seinen letzten Zweck in sich selbst sucht, sondern sich als einen Teil der Menschheit fühlt in Vergangenheit u. Zukunft, wenn wir ihn nicht als Glied einer Kette in diese Kette einfügen? Die Gegenwart ist nur Gegenwart in Verbindung mit der Vergangenheit, und wir verstehen die Gegenwart nicht und können die Zukunft nicht erfassen, und das Menschenleben verliert seinen deutbaren Sinn, sobald wir uns einschließen in den beschränkten Ring unserer isolierten Existenz oder auch in denjenigen unserer Generation. Wir lebten in unserer Gegenwart wie Robinson auf seiner Insel, für den es keine Verbindung mit den Menschen gibt.

In Tat und Wahrheit ist eine solche „Isolierung der Seele in der Zeit“ unmöglich; es steckt in ihr der Trieb, sich Einblick zu verschaffen in den „Rätselrachen“ des Weltgeschehens, die ruhelose Neugier nach dem, was sich einst begeben, ein Drang, den dunkeln Raum mit Gestalten und Ereignissen auszufüllen. So schuf sie, als es noch keine Geschichtsschreibung gab, in heidnischer Zeit den Mythos und die Sage, in christlicher die Legende; und die menschliche Phantasie würde auch heute noch weiter dichten, hätten wir nicht die Historie und in den Schulen Geschichte als Fach, besäßen wir nicht Bücher und Bibliotheken. So ist es: Geschichte weist dem Menschen seinen Platz an in Zeit und Raum, in den menschlichen Bindungen, sie gibt seinem Dasein Ziel und Zweck. Der Wert der Geschichte geht aber noch in andern Richtungen. Geschichte ist eine treffliche Schule des Gedächtnisses, der Assoziation und der Kombinationskraft; G. packt und ergreift die Phantasie und das Gefühlsleben, sie weckt Sympathien und Anti-

pathien, die Kraft und den Willen zur Gemeinschaft, und entwickelt den Sinn für Recht und Unrecht, sie beschäftigt die Urteilskraft und erregt den kritischen Verstand. G. ist Leben und Bewegung und erfaßt den menschlichen Geist von allen Seiten: Wenn sie dem Kinde nicht gefällt, so liegt der Fehler weder bei der Geschichte noch beim Kinde! G. bietet auch die beste Grundlage für die Entwicklung der Zeitanschauung und des Begriffes der Kausalität. Das kleine Kind hat den Zeitsinn nicht; gerade darum, behauptet man, hätte es auch kein Verständnis für Geschichte. Der Zeitsinn ist doch notwendig, um jedes geschichtliche Ereignis an die rechte Stelle im Zeitverlauf zu setzen. Mit dem gleichen Recht kann man folgern: Mathematik ist nichts für Kinder, denn es fehlt ihnen der Begriff der Zahl, des Raumes, der Entfernung. Im Unterricht erwerben sie diese Begriffe nach und nach durch Anschauung und Uebung. Und ähnlich ist es mit der Zeit. Das Kind höre von den Pfahlbauern, von der Gründung der Eidgenossenschaft, vom Sonderbundskrieg: Da ist es gewiß, daß es diese Ereignisse nicht in richtiger Entfernung zur Gegenwart und zu einander setzen wird, wahrscheinlich rücken die Pfahlbauer in seinem Geiste viel zu nahe an die modernen Eidgenossen hin: Wie wir aber die dazwischen fallenden Geschichtsbilder entrollen, wie sich Szene um Szene hineinschiebt zwischen Einst und Jetzt, werden die Pfahlbauer nach und nach in die richtige Distanz versetzt. Der Zeitsinn geht eben dem Geschichtsunterricht nicht voraus; es wäre doch kaum normal, wenn die Wirkung der Ursache voranginge.

Ohne Zweifel ist die Geschichtschreibung ein Gewebe von Wahrheit und Irrtum; gar oft haben Liebe und Haß, Leidenschaft, Vorurteil, Selbstsucht und Eitelkeit den Griffel geführt; Lug und Trug treiben darin ihr Wesen; die Geschichte muß sich systematische Umformung, lügnerische Aenderungen, Fälschungen aller Art gefallen lassen, man schmiedet daraus ein Kampfmittel zu Nutzen der eigenen Interessen und Doktrinen. Und damit wird sie zu einer Quelle von Irrtümern, Illusionen und neuen Aberglaubens. Deswegen zu sagen, die Geschichte selber sei unmoralisch, wäre verfehlt;

hier setzt der Trieb ein, die Wahrheit rein und unverfälscht zu suchen, die Ereignisse der Vergangenheit, die Institutionen und die Menschen, im Sinne der Vernunft darzustellen.

Und im übrigen könnten wir fragen: Treffen wir nicht ähnliche Erscheinungen in allen übrigen Wissenschaften, auch hier Irrtümer die Menge, Fälschungen sogar begegnen — pour corriger la fortune. — Aberglauben und Wunderglauben treffen wir heute noch von der Physik bis in die Philosophie. B. Shaw meint, daß unsere Zeit es an Leichtgläubigkeit füglich mit dem Mittelalter aufnehmen könnte. Sollen wir aber trotz all der kühnen oder phantastischen Theorien und Hypothesen Physiologie, Medizin etc. aufgeben, weil man gestern für die richtige Ernährung die Kalorien zählte und heute auf die Vitamine schwört? Wir müssen uns eben zufrieden geben mit der relativen Wahrheit, da wir überhaupt keine andere kennen. In jeder relativen Wahrheit steckt noch ein Gran Irrtum; aber der Schaden, der daraus entsteht, ist immer noch kleiner als derjenige, der durch die Unwissenheit erzeugt wird.

Geschichte sei lebensfremd? Was kümmert uns Menschen des XX. Jahrhunderts das Vergangene! Laßt es begraben sein! Laßt statt der toten Geschichte das Leben in die Schule hineinfluten! Oeffnet die Fenster! Die Schule ist sowieso zu abgeschlossen, die Luft darin riecht muffig nach Moder. Gut, nehmen wir dieses aktuelle Leben herein, das zwar auch nichts anderes ist als ein Moment der Geschichte: Geschichte in statu nascendi: m. a. W. machen wir die Politik zum Gegenstand der Betrachtung! Das ist doch wohl der Sinn dieser Aufforderung. - Öffnet also die Fenster u. betrachtet das vorüberwogende Leben des Tages. Einige Themen: Die Gemeinderatswahlen. Der Kampf um den Proporz. Steuerehrlichkeit im Thurgau. Die amtliche Inventarisation in allen Todesfällen. Die Alkoholfrage. Das „rote“ Zürich u. a. Ist dieses Schauspiel etwa näher dem „wahren“ Leben, dem Geiste, der Moral als die Betrachtung der Vergangenheit? Hier allerdings: Wieviel Taten der Gewalt, der Leidenschaft, der Unduldsamkeit; der Listvolle triumphiert über den Naiven, der Harmlose wird bedrückt, der Starke schwingt rücksichtslos oben auf! — Und dort:

Wird das Laster heute immer bestraft und die Tugend belohnt? Ordnet das Recht alle Beziehungen von Mensch zu Mensch? Besteht tatsächlich Gleichheit vor dem Gesetz? Hängt man die großen Diebe gleich hoch wie die kleinen? Oeffnet die Fenster dem Leben! Seht auch da Liebe und Haß, Aufrichtigkeit und Lüge, Gut und Böse, ein Hin- und Herwogen von sich widersprechenden Meinungen, Aktionen und Reaktionen, in einem Durcheinander, das den kindlichen Geist verwirrt, bedrängt, beängstigt. Diese Gegenwart ist sicher kein Gegenstand für Kinder — und der Lehrer liefe Gefahr, daß man ihm am Abend die Fensterscheiben einwürfe! Nein, wir dürfen nicht den letzten Moment ins Auge fassen, wo Geschichte eben entsteht, auch nicht das einzelne vergangene Ereignis in seiner Isoliertheit; nur wenn wir jene geschichtliche Bewegtheit auf einer langen Bahn betrachten, von einem Punkt weit in der Vergangenheit, wo sie anhebt, von wo sie kommt, und sie nun verfolgen durch die Jahrhunderte, m. a. W. wenn wir auch in der Geschichte den Entwicklungsgedanken zur Anwendung bringen, können wir die allgemeine Richtung des geschichtlichen Geschehens erkennen, kommt uns die Erleuchtung über den Sinn des historischen Werdens. Ist diese Bewegung, welche Geschichte heißt, etwas anderes als die aufsteigende Kultur? Hat sich durch sie nicht das Wunderbarste im Menschen, sein Gewissen, gebildet? In alten Höhlen hat man Menschenknochen gefunden, an denen Spuren deutlich darauf hinweisen, daß sie von Menschen selber zertrümmert worden sind, zum mindestens ist dies wahrscheinlich. Und nun zwischen der Steinzeit und der Epoche des Völkerbundes, in die wir eintreten, dessen hohe Aufgabe die Bekämpfung des staatlich organisierten Totschlages ist: Welche Fülle der Beispiele von Roheit, Grausamkeit, Ungerechtigkeit; furchtbar zu betrachten vereinzelt, aber in der Verkettung der Ereignisse und Anfang und Ende mit einander verglichen, kommt doch die geschichtliche Wahrheit zum Durchbruch, läßt sich der Fortschritt der Entwicklung erkennen. Vom Sumpfgelände, wo einst London gegründet wurde, bis zur modernen Weltstadt mit ihrer bewunderungswürdigen Organisation; vom Einbaum bis zum Riesenozeandampfer; von

der Unwissenheit, die in der Natur überall feindliche Mächte ahnte, bis zur heutigen Naturwissenschaft, welche jene Kräfte sich dienstbar macht: wieviele interessante Stufen, aber auch ebenso viele Gelegenheiten, das Kind den langsamen Aufstieg der Menschheit miterleben zu lassen, ihm zu zeigen, wie sich all das entwickelt hat aus dem Bedürfnis nach größerer Sicherheit, Behaglichkeit, Gerechtigkeit. Und es wird lernen, daß Zivilisation und Kultur ein Werk der Gemeinschaft sind, entstanden durch Zusammenarbeit von Kopf und Hand; daß der Weg zu höhern Daseinsformen nur möglich gewesen ist innerhalb der Gesellschaft, später im Rahmen des nationalen Lebens, im Staate. Neben dem Kampf ums Dasein erhebt sich das Prinzip gegenseitiger Hilfe. Und es wird weiter erkennen, daß der Aufstieg der Menschheit ein Weg des Leidens war. Überall und zu allen Zeiten haben die Menschen dulden müssen; sie haben gelitten durch eigene Unwissenheit, durch ihre Streitigkeiten, und besonders durch die Kriege ihrer Führer, die sich zu ihren Herren gemacht haben. Die Kriege, welche die Jahrtausende mit ihrem Lärm, mit Blut und Grausen erfüllen, sind fast immer unheilvoll gewesen für das Volk; da sind die Verstümmelten, die Gefangenen, die Frauen und Kinder, die das Los der Sklaverei bedrohte. Die Erzählung der kriegerischen Auseinandersetzungen kann in der Geschichte nicht ausgemerzt werden, es wäre ein Verstoß gegen die Wahrheit. Man fürchte nicht, daß das Schauspiel der Schlachten die Kriegslust in der Jugend entfache: Diese steckt schon in ihrem Blut und ist ein Erbteil aus einer Zeit, die weit vor jeder Geschichte liegt, nur durch die lange schmerzliche Erfahrung wird sie einmal überwunden werden. Es hat zweifellos am Krieg und an der Kriegsvorbereitung Seiten, welche dem Kinde gefallen: Die Fahnen und die Trommeln, die Säbel und Kanonen, die großen Taten und die meist noch größern Worte! Aber muß man sich daran halten? Man darf nur die Kehrseite im Unterricht nicht vergessen, wie es bis heute leider fast immer geschehen! Wer hindert mich, die Toten zu zählen, an das Stöhnen und die Leiden der Verwundeten, an die Tränen der Mütter zu erinnern? Wer hindert mich, die Vorstellung wachzurufen, wie unter den Triumphbögen neben den heimkehr-

enden Siegern unsichtbar die Toten marschieren! Man zeige die Verheerungen, die Ruinen, die vergeudeten Kräfte, die Unbeständigkeit der Gewaltfriedensschlüsse, den Widerspruch unseres Gewissens gegen die gewaltsame Tötung von Menschen! Und wer hindert mich schließlich darauf hinzuweisen, wie die segensvollsten Zeiten der Geschichte die Perioden des Friedens sind?! Wahrlich, die Geschichte, richtig erfaßt, ist das beste Mittel, den Frieden zu lehren.

Geschichte ist auch eine Schule der Gerechtigkeit und der Toleranz. Das Wissen wie das Gewissen der Menschen hat sich durch Erfahrung gebildet in unermüdlicher Anstrengung. Wir werden nun nicht dem Menschen des Mittelalters zum Vorwurf machen, daß er das Telephon und die Flugmaschine nicht gekannt habe, ebensowenig dürfen wir ihm vorwerfen, daß ihm die Toleranz etwas Fremdes gewesen sei. Aber wir werden feststellen, welche Verbrechen, Leiden und Verwüstungen dieser Mangel an Duldung mit sich gebracht hat, die heute durch die gegenseitige Achtung vor dem Glauben des andern verhindert werden. Und wenn wir in frühern Epochen einen erleuchteten Geist treffen, so werden wir, ohne gegen die Zeitgenossen ungerecht zu sein, die Ueberlegenheit seiner Auffassung gegenüber dem allgemeinen Bewußtsein betonen. Aber man darf nicht die Taten vergangener Zeiten verdammen mit den Anschauungen, die heute gelten. Und ähnlich ist es mit der Gerechtigkeit und der Rechtspflege. Die Zeitgenossen haben Karl den Grossen sicherlich als einen gerechten Richter betrachtet, und sie waren zu einem Urteil eher befähigt als wir; doch wenn heute ein Gericht nach seinen Kapitularien Recht spräche, so würden wir sein Urteil kaum als gerecht empfinden. An diesem Unterschied in der Einschätzung kann man den durchlaufenen Weg bemessen. Und wir bringen den Schülern den Stolz und den Willen bei, gerechter zu sein als jene Zeit es war.

Und endlich wollen wir eines nicht vergessen: Die Geschichte ist die Hüterin der hohen Ideale, welche die Großen der Menschheit ihren Völkern verkündet und die wie leuchtende Sterne über dem Schicksalsweg der Nationen stehen; an ihnen

messen und bewerten wir, bewußt oder unbewußt, alles menschliche Tun und Lassen; sie sind es, die in empfindsamen Seelen immer und immer wieder die erhabenen Träume einer schönern Zukunft wecken, in Männern der Tat aber den Mut und die Energie zu neuer Anstrengung, die sittlichen Ideen zu verwirklichen: „Ein Reich der Kultur, der Vernunft, des Geistes, das zugleich ein Reich wahrer Freiheit und edler Menschlichkeit ist, zu begründen, ist die geschichtliche Aufgabe des Menschen."

Anmerkung: Daß der Geschichtsunterricht eine völlige Umgestaltung erfahren muß, darüber sind wohl alle Einsichtigen einer Meinung; der Weltkrieg hat in diesem Fache eine Umwertung fast aller Werte hervorgerufen, deren Wirkung sich die Schule nicht entziehen darf. Leitsätze werden in Lehrerversammlungen die Menge aufgestellt, doch damit ist im Grunde wenig geleistet. Die frühern Götzen sollten erst verbrannt werden, vor allem auch die alten Lehr- und Handbücher, „die vielen allzu lieb geworden sind." Zwei Aufgaben hat die Reform zu lösen: Ein moderner Geschichtsunterricht wird nicht möglich sein ohne Geschichtsbücher „im neuen Geist," und zwar brauchen wir insbesondere ein Handbuch für den Lehrer, das einmal den historischen Stoff in ganz anderer Auswahl und Gruppierung bringt; sodann muß sich der Geschichtsunterricht besser auf die psychische Natur des Kindes einstellen, Geschichte soll vom Standpunkt des Schülers aus gestaltet werden. Das bedeutet inbezug auf die Unterrichtsform bildhafte Darstellung, die alles Vergangene szenisch sieht, das Zuständliche in Handlung auflöst und so das Kind zum Mit- und Nacherleben führt. (Walburg).

In unserm Verlage sind erschienen und können von **Frau SULZER,** Morgenthalstraße 30, **Zürich 2,** bezogen werden:

Un anno d'italiano, ein neues, kurzgefaßtes Lehrmittel der italienischen Sprache mit Übungen, Grammatik, Übersetzungen, Lektüre und Liedern von Hans Brandenberger-Regazzoni. Preis geb. Fr. 3.20.

Das Zeichnen in der Volksschule, Stoffprogramm und Wegleitung zum systematischen Zeichenunterricht. II. Aufl., von J. Greuter, Sekundarlehrer in Winterthur. Preis broschiert Fr. 5.50.

Cours pratique de langue française von Hans Hœsli, Zürich. Eine Fortsetzung zu den *Eléments* desselben Verfassers. Reicher Übungsstoff, der an jede Lektüre angeschlossen werden kann, Uebersetzungstexte. Für III. Sekundarschulklassen und untere Mittelschulen gedacht. Preis Fr. 3.20.

Hans Hoesli: Morceaux gradués et Lectures romandes. Ein Lesebuch mit methodischem Teil und anschliessend kursorischer Lektüre, Originalwerklein führender westschweizerischer Autoren. Dieses Lesebuch bildet mit dem „Cours pratique" (als grammatikalisches Übungsbuch) die Fortsetzung der heute in vielen Schweizerkantonen mit grossem Erfolg gebrauchten „Eléments" des gleichen Verfassers. Bestimmt für III. Sekundarklassen und untere Mittelschulen. 12 Bogen. Preis Fr. 2.80.

Methodik des Deutsch- und Französischunterrichts, von Gustav Egli, geb. Fr. 1. —.

Abrégé de grammaire française von Prof. Dr. A. Sechehaye, Genf.

Le v Praktische
n und unt.

Übur rauchiger,
Fr. —.60.

Jahrb e, von A.

" Séchehaye,
H. Hœsli;
edisschrift

" rbeit oder
Beiträge.

Lösu **ttels** von
ie neueste

Deut n Winter-

Rund r. —.20.
Die ommer in

Wurz