

Die physikalischen Grundgedanken und ihre Nutzung im Unterricht [Fortsetzung]

Autor(en): **Dessauer, Friedrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Schule**

Band (Jahr): **27 (1940)**

Heft 8

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-531884>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Mittelschule

Die physikalischen Grundgedanken und ihre Nutzung im Unterricht*

V.

Der neue Mitspieler war das „Feld“. Zunächst war nicht enthüllt, was alles sich hinter diesem Wort verbirgt. Faraday beobachtete, dass die elektrischen Kräfte (und ebenso die magnetischen), die an irgendwelchen Körpern unter scheinbarer Fernwirkung angreifen, nicht nur von dem Abstand abhängig sind, wie bei Newton in der Massenanziehung und bei Coulombs elektrischem und magnetischem Gesetz — sondern dass auch andere Faktoren der Umgebung von Einfluss seien. Das sogenannte „Dielektrikum“, das etwa zwischen zwei entgegengesetzt geladene Metallflächen gebracht wird, entschied darüber, wie gross die Anziehungskräfte zwischen den geladenen Flächen seien. Demnach mussten sich diese Kräfte im Raum zwischen den Wirkungskörpern fortpflanzen, und zwar von Ort zu Ort, und durch die Materie im Zwischenraum beeinflusst werden — ganz im Gegensatz etwa zur Kraft zwischen Sonne und Erde, die zeitlos durch den Raum zu greifen schien und nur von Massen und Abstand abhängt. Faraday führte das Modell der Kraftlinien ein, die den Wirkungsraum zwischen elektrischen und magnetischen Ladungen erfüllen, und machte dadurch den Begriff des Feldes förmlich sichtbar. Wo Kraftlinien sind, ist das Feld, also überall dort, wo sich Kräfte, die von Ladungen ausgehen, irgendwie nachweisen lassen. Das ist eigentlich immer die ganze Welt, aber in einigen Abständen von den Ladungen werden die Kräfte so klein, dass man sie vernachlässigen kann. Und nun zeigte er in zahlreichen Experimenten, dass das Feld entscheidet, d. h. die Umgebung

einer Ladung und nicht die Ladung selbst in erster Linie. Seine Gedanken führen bis zu einer völligen Umkehr: Nicht die elektrische Ladung erzeugt das Feld, d. h. den Spannungszustand in der Umgebung, sondern das Feld ist die Realität. Die Spannungen darin, quantitativ ausdrückbar in Zahl und Richtung der Kraftlinien, schaffen da, wo es endet, jenes Phänomen, das man als elektrische Ladung wahrzunehmen glaubt. Das Feld besteht auch, wenn Gase den Raum erfüllen, und es besteht weiter, wenn man diese Gase entfernt. Es bleibt auch praktisch unverändert, wenn man die Molekülenzahl der Gase auf unter $\frac{1}{1,000,000}$ und, soweit man kann, darunter verdünnt. Die Dielektrizitätskonstante wird nicht = Null, sondern sie bleibt 1. Worin also besteht das Feld? Der Schluss liegt nahe, es müsse ausser der durch ihre Trägheit erfahrbaren Materie des Dielektrikums noch etwas da sein, was die „Spannungen“ von Ort zu Ort weiterliefert. Dieses Postulat führte zur Vorstellung des Äthers, der lange notwendig erschien und niemals der Erfahrung sich bot.

Aber das Wichtigste war dies: Es ergab sich mit voller Sicherheit, dass die Fortpflanzung der Kräfte im Feld Zeit braucht. Nicht viel, aber immerhin Zeit. Die Zeit kommt in Newton's Gesetz der Massenanziehung nicht vor. Gewiss, später nahm man an und heute ist man dessen sicher, dass auch die Gravitationskräfte etwa zwischen Gestirnen sich mit endlichen Geschwindigkeiten fortpflanzen. In der Epoche von Faraday und Maxwell wirkte aber die Entdeckung, dass elektrische und magnetische Kräfte zwar sehr grosse, aber endliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten haben, revolu-

* Siehe Nr. 7.

tionär. Dadurch wurde nicht nur deutlicher, dass sie kontinuierlich, ohne Lücke in Raum und Zeit, nichts überspringend, sich ausbreiten, sondern darin steckte mehr: Hinter dem neuen Mitspieler, der Realität „Feld“, verbarg sich das geheimnisvolle Newton'sche Gefäss von Raum und Zeit. Der Versuch mit dem rotierenden Wassereimer wurde von neuem aktuell. Auch der nicht von irgendeiner trägen Materie erfüllte Raum leitet ja die elektrischen und magnetischen Kräfte!

Ja noch mehr: Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer und magnetischer Kräfte und induktiver Wirkung erweist sich als identisch mit der bereits gemessenen Weltraumgeschwindigkeit des Lichtes. Die Stoffe in irgendeinem Ausbreitungsfeld ändern die Fortpflanzung. Aber es ist nur eine additive Grösse, die geändert wird. Der Äther — Name für die Grundleitfähigkeit im stoffleeren Raum — ist überall dabei. Zu seiner Leitfähigkeit 1 fügt sich die Stoffleitfähigkeit als lineare Grösse. — Neue Sensation: Die „Weber'sche Zahl“: Die magnetische Feldkraft, die ein fließender Strom (das ist eine bewegte Ladung) ausübt, ist, im gleichen Mass gemessen, um eine Masszahl verschieden von der elektrischen Feldkraft einer ruhenden Ladung, und diese Masszahl, die Weber'sche Zahl, ist genau die Weltraumgeschwindigkeit des Lichtes und damit gleich der magnetischen und elektrischen Feldgeschwindigkeit.

Das anschauliche Denken wird dieser Dinge zunächst nicht Herr. Aber es offenbart sich wie bei Leibniz und Newton, so jetzt durch Maxwell, die Überlegenheit des mathematischen Logos. Freilich, das von Leibniz und Newton entdeckte Rüstzeug muss verbessert werden. Dafür ist von Lagrange und Poisson vorbereitende Arbeit geschehen: Die partielle Differenziation. Sie wurde nötig, als Newton'sche Gedanken etwa auf elastische und deformierbare Stoffe angewendet wurden. Denn dabei ergaben sich Unterschiede in den Richtungen, deren man durch Erweiterung des Differenzialkal-

küls Herr wurde. Mit der partiellen Differentialgleichung konnte man den neuen Mitspieler, das „Feld“, räumlich und zeitlich meistern, und Maxwell meisterte ihn damit. In zwei Gleichungspaaren vermochte er die ganz neue Erfahrung einzufangen — all das, was man gewöhnlich Elektrodynamik, die Optik inbegriffen, nennt; und nicht nur dies, alle gefundenen und in den nächsten Generationen zu findenden Einzelgesetze ergeben sich aus diesen Grundgleichungen, sozusagen die ganze Elektrotechnik, die nun riesig zu wachsen begann. Es ist ähnlich, wie seiner Zeit bei Newton: Aus seinen Grundgleichungen lässt sich die klassische Mechanik, die Akustik, die Wärmelehre, deduzieren. Die Feldgleichungen Maxwell's enthalten im Kern alle Gesetze der klassischen Elektrodynamik.

Der neue Partner im fundamentalen naturgesetzlichen Bestand war also mit reicher Gabe gekommen. Er hat nicht etwa die Newton-Welt widerlegt. Alles blieb bestehen, nur war viel mehr und viel Tieferes dazugekommen. So gewaltig die Newton'sche Welt war, sie war ein Teil. Die Frage erhob sich: Umfasst die Feldtheorie die Newton'sche Welt oder bestehen beide nebeneinander? — mit andern Worten: lässt sich die Gravitation und die ganze klassische Mechanik feldtheoretisch deuten? lässt sich das Newton'sche Gleichungssystem aus dem Maxwell'schen ableiten? Zuerst natürlich versuchte man es umgekehrt. Maxwell selbst und nachher eine ganze Reihe grosser Physiker versuchten der Feldtheorie mechanische Deutung zu geben. Aber das ging nicht. Ansätze, die Mechanik, insbesondere die Gravitation feldtheoretisch zu deuten, schienen aussichtsvoller. Aber sie sind noch nicht zu Ende.

Heute bietet die Veranschaulichung der Maxwell'schen Gleichungen keine besonderen Schwierigkeiten mehr. Man kann sie ohne Benutzung von partiellen Differentialgleichungen sinngemäss erläutern unter Benutzung der Begriffe: Divergenz und Rotation, wie sie als sogenannte Operatoren von

der Vektor-Analyse gegeben werden. Diese Operatoren lassen sich ohne besondere mathematische Analyse anschaulich machen, etwa so wie es Born in seinem Buch „Die Relativitätstheorie Einsteins“ getan hat. — Wichtig ist noch die Analogie mit dem Newton'schen Fortschritt: Newton hat zu den integralen Kepler'schen Bahngesetzen das differentielle Kraftgesetz entdeckt. Im Grunde ist der Maxwell'sche Gedanke analog. Die Newton'sche Betrachtung überspringt sozusagen den Raum, die Maxwell'sche gibt den differentiellen Schritt von Raumpunkt zu Raumpunkt und Zeitpunkt zu Zeitpunkt, doch nur — für magnetische und elektrische Kräfte, nicht für die Gravitation.

VI.

Die Krönung der Maxwell-Zeit bilden die Arbeiten von Heinrich Hertz. Der Weg des Lichtes und aller andern elektromagnetischen Wellen klärt sich als einheitliches Feldgeschehen von wunderbarer Geschlossenheit. Die Versuche mechanisierender Aethertheorien sind endgültig abgetan. Was man als mechanischen Vorgang im Aether deuten wollte, ergibt sich eindeutig als Feldvorgang im „physikalisch leeren Raum“. Der „physikalisch leere Raum“ hat physikalische Eigenschaften, obwohl er keine Massenteilchen enthält, d. h. nunmehr exakt: Nichts, was eine fundamentale Masseneigenschaft trägt, keine Beharrung, kein Ausgehen und Münden von Gravitationskräften. D. h. also auch: Nichts, was wie ein Molekül oder auch nur ein Elektron aussehen könnte. Das Wort „Raum“ weicht nun in der Physik sehr häufig dem Wort „Feld“. Ueber das Feld lässt sich Konkretes aussagen. In ihm ist Raum und Zeit bereits zusammengeschlossen, da ja alle Vorgänge im Feld mit einheitlicher, endlicher Geschwindigkeit (Weg in Zeit) erfolgen. Die konkreten Eigenschaften des physikalisch leeren Raumes als Feld sind — wie seinerzeit in einem Aufsatz in dieser Zeitschrift dargelegt — diese drei: Er hat eine bestimmte dielektrische Leitfähigkeit, eine

bestimmte magnetische Leitfähigkeit, aber seine elektrische oder Strom-Leitfähigkeit ist $= 0$.

Der Bestand der Grundrealitäten der Physik war nach Newton: Raum und Zeit gewissermaßen als leere Gefäße des Geschehens, der Massenpunkt als Trägheit, Ausgang und Angriffsort anziehender Kräfte. Jetzt war der Bestand nach Maxwell und Hertz: Der Massenpunkt, wie bei Newton beweglich, träge, Quelle und Mündung der Gravitationskraft, und außerdem das Feld, in dessen Konzeption Raum und Zeit in den Maxwell'schen Gleichungen formal eingehen, so dass man sie physikalisch durch den Feldbegriff präziser erfassen kann. Aber es lag über diesem Zusammenhang zwischen Raum, Zeit und „Feld“ noch ein dichter Schleier, und die damalige Physik war sich nicht bewusst, dass schon vor geraumer Zeit ein ganz grosser Mathematiker mit einer genialen Intuition ein Stück Weg in dieses Geheimnis eingedrungen war.

Mathematiker sagen manchmal, ihre Wissenschaft arbeite auf Vorrat. Sie erweitere ihre Gebiete unausgesetzt und oft ohne Rücksicht darauf, ob ihre in eigener Logik geltende Strukturkenntnis sich irgend einmal mit sinnhaften Inhalten der Erfahrungswelt füllen werde, mit anderen Worten, ob man sie je auf irgend ein Wissensgebiet anwenden können. Aber es ist schon oft geschehen, dass solche auf Vorrat geschaffenen Methoden und Teildisziplinen später Anwendung in der Naturwissenschaft fanden — so jüngst die Matrizenrechnung in der Quantenmechanik —. Dabei stellt sich immer wieder heraus, dass die mathematische Behandlung physikalisch richtige und teilweise ganz überraschende Ergebnisse liefert, das heisst also: Die Anwendung der sogenannten „leeren“ mathematischen Logik auf physikalische Erfahrungsgegenstände gibt Resultate, die sich nachher im Experiment bestätigen.

Was (abgesehen von den vielfältigen Meinungen der Philosophen) die Mathema-

tik über den Raum lehrt, war früh im Grunde von Euklid² für Jahrhunderte formuliert. Die euklidische Geometrie beruhte auf „Axiomen“ oder, wie man vielleicht besser sagt, Postulaten. Von ihnen ist im Laufe der Zeit das 5. Postulat, das Parallelenaxiom oft diskutiert worden. Nicht etwa, dass man Geometrie darauf widerspruchsfrei aufbauen könne — das blieb ohne Zweifel. Man diskutiert aber, ob dieses Axiom wirklich unbedingt nötig wäre, und ob es nicht auch eine oder mehrere logisch ebenso berechnigte Geometrien im Widerspruch zum Parallelenaxiom gäbe, eine widerspruchsfreie Geometrie der gekrümmten Räume. Im Anfang des vorigen Jahrhunderts beschäftigten sich eine ganze Reihe von Mathematikern mit diesem Problem. Der Russe Lobatschewsky widmete ihm sein ganzes Forscherleben, die beiden ungarischen Mathematiker, Vater und Sohn Bolyai, veröffentlichten die erste Lösung (1823), der grosse Gauss besass die nichteuklidische Geometrie, schrieb darüber 1829 an Bessel, aber veröffentlichte in seiner Lebenszeit nichts, obwohl sie ausgearbeitet war. Vielleicht spielt als Motiv dieser Zurückhaltung die geistige Lage der Zeit mit, die unter dem Eindruck dessen stand, was Kant über Raum und Zeit lehrte. Wenn der Raum danach eine Anschauungsform des menschlichen Geistes ist, so schreibt der menschliche Geist die Struktur des Raumes souverän vor, und es kann keinen anderen geben, als den euklidischen, der dem Menschen a priori gegeben ist und den er in die Aussenwelt projiziert. — Wenn aber auch Gauss schwieg, er hatte einen Schüler, der ihm an Genialität nicht nachstand. Das war B e r n h a r d R i e m a n n.

Das menschliche Schicksal Riemanns ist von ähnlicher Tragik wie das von Kepler. Sohn eines Landpfarrers, blieb er sein ganzes Leben von einem tiefen Glau-

² Euklid selbst spricht nicht von Raum, sondern von Punkt, Gerade etc. Bei Descartes bringt die Einführung der Koordinatendarstellung das „Raumkontinuum“ zum Ausdruck.

ben an die göttliche Vorsehung beseelt. Dies war der Stern seines Erdenwegs, und er hatte einen Leitstern nötig. In wenigen Jahren starben ihm seine Angehörigen an Tuberkulose, von der er sich selbst bedroht fühlte. Als er es wagt zu heiraten, überfällt ihn einen Monat nach der Eheschliessung eine Brustfellentzündung. Er flieht nach dem Süden und verbringt, geschwächt und den Tod erwartend, noch drei Jahre meist in Italien. Als er im Jahre 1866 wieder schwer erkrankt von Göttingen nach dem Süden zieht, findet er durch die kriegerischen Ereignisse in Kassel den Schienenweg gesperrt. Der kranke Mann reist mit Wagen, erreicht am 28. Juni 1866 den Lago Maggiore und stirbt wie ein Heiliger am 20. Juli im Garten der Villa Pisoni in der Nähe von Intra.

Riemanns Arbeit brachte (in seiner Habilitation und Antrittsvorlesung, der Gauss noch anwohnte) die nicht-euklidische Geometrie zu einem vorläufigen Abschluss, d. h. sie lieferte die geschlossenen Systeme für die zwei anderen möglichen Fälle, bei denen die Dreieckswinkelsumme grösser oder kleiner als $2R$ ist. Diese Arbeiten führen dann weiter in eine neue Fundamentalgeometrie, die Differentialgeometrie, in der die drei logisch möglichen Geometrien eingeschlossen sind. Das ist heute das allgemein anerkannte Fundament. Aber das Gewaltigste an der Gedankenarbeit Riemanns liegt anderswo: Mit der widerspruchsfreien M ö g l i c h k e i t der Geometrien mit positivem oder negativem Krümmungsmass war ja über die Wirklichkeit noch gar nichts gesagt. Es konnte ja gut sein und entsprach der allgemeinen Annahme, dass die Geometrien der gekrümmten Räume lediglich Gedanken- dinge seien ohne Realfundament. (Selbst als Riemann starb, stand die physikalische Gedankenwelt noch nicht unter der Herrschaft der Maxwell'schen Gleichungen, und der Begriff des Feldes war noch nicht populär.) In seiner Habilitationszeit wurde Riemann von dem Gedanken gepackt: Wie wäre es, wenn die Physik nicht nur im geome-

trischen Raum stattfindet, wie wir mehrfach sagten, „wie in einem Gefäss“, sondern, wenn die Physik den geometrischen Raum gestaltet! Das würde bedeuten, dass die räumlichen Massverhältnisse durch die Kräfte erst bestimmt werden, also nicht im „Raum“ selbst ihr Fundament hätten. Was wir vom Raum erfahren, seine Struktur, das ist eben das Geometrische, das Maßstäbliche. Wenn nun der Grund der Massverhältnisse des Raumes, darin natürlich die Krümmungsmasse eingeschlossen, nicht in ihm selbst, sondern in wirkenden äusseren, wie Riemann sagt, „bindenden Kräften“ besteht, dann wird der

Raum zu einem Gegenstand der Physik, und es gibt nicht eine Geometrie, sondern beliebig viele, je nachdem die Kräfte dem Raum eine andere Struktur vorschreiben. Dies alles zehn Jahre vor der Veröffentlichung der Maxwell'schen Gleichungen! Natürlich blieb Riemann von seinen Zeitgenossen unverstanden und einsam.

Etwa 70 Jahre nachher kam der Physiker Albert Einstein (1915) auf Grund von physikalischen Tatsachen und Überlegungen zu eben diesem Ergebnis in der allgemeinen Relativitätstheorie. (Schluss folgt.)

Freiburg.

Friedrich Dessauer.

Umschau

Unsere Toten

Lehrer Alois Landtwing, Menzingen.

Kollege Alois Landtwing weilt nicht mehr unter den Lebenden. Eine heimtückische Krankheit hat den 52jährigen, kerngesunden, kräftigen Mann in kurzer Zeit gefällt. Nach Betreuung von zwei Verweserstellen wählte die Gemeinde Menzingen den jungen Al. Landtwing als Lehrer an die Mittelschule, welche er nach einigen Jahren mit der Oberschule vertauschte. Hier und als Lehrer an der Gewerbeschule war er in seinem Element, liebte er doch die Schule über alles. Sein Unterricht war praktisch, lebensnahe und interessant. Besonders prächtige Erfolge erzielte er im Rechtschreiben, in der Sprachlehre und damit auch im Aufsatzunterricht. Die Herren Inspektoren erteilten seiner Schule stets die wohlverdiente erste Note. — Mit grosser Hingebung hatte er sich auch in alle Fächer der Handwerkerschule vertieft und dafür von den eidgenössischen Experten immer volle Anerkennung geerntet. Diese bedauerten bei ihren Besuchen jeweils nur das eine, dass die Gewerbeschule Menzingen so wenig Schüler zählte.

Alois Landtwing war in glücklicher Ehe mit einer währschafften Bürgerin von Menzingen ver-

heiratet. Ein Sohn und eine Tochter entsprossen dem Lebensbund, der leider nur knapp 25 Jahre dauerte. Als Mensch führte er ein zurückgezogenes Leben und gehörte nur dem Cäcilienverein und dem Männerchor an. Als Mitglied der Sektion Zug des katholischen Lehrervereins der Schweiz besuchte er, wenn immer möglich, die Versammlungen. Der kantonalen Pensionskasse diente er als gewissenhafter Rechnungsrevisor. Auch die Einwohnergemeinde Menzingen übertrug ihm das wichtige Amt eines Rechnungsprüfers. Ueberall stellte er seinen ganzen Mann und erfüllte stets die auf ihn gesetzten Hoffnungen. Die verhältnismässig wenigen Jahre, welche ihm der Herrgott schenkte, hat er gut ausgenützt. Den Hinterlassenen unsere aufrichtige Anteilnahme und dem lieben Kollegen die ewige Ruhe! —ö—

Laurenz Oesch, a. Lehrer, St. Josephen.

Im Alter von 76 Jahren starb, den ältern Kollegen noch wohlbekannt, a. Lehrer Oesch. 1884 war er nach kurzer Verweserei in Balgach und Gebertingen nach St. Josephen gewählt worden, das ihm zur zweiten Heimat werden sollte. Er stand der Unter-, Mittel- und Oberschule vor und betreute zeitweise bis zu 100