

Erinnerungen — Souvenirs

Professor *Albert Einstein* †

Die Schriftleitung dieses Festheftes hat mir in liebenswürdigster Form nicht wenig zugesetzt, einen Beitrag zu leisten. Zunächst wußte ich nicht, wie ich dies anfangen sollte und reagierte mit einem verlegenen Stillschweigen. Als ich aber merkte, daß es nicht möglich sei, in solcher Weise ungerufen und mit einiger Grazie davonzukommen, gab ich diesen Weg auf. Da ich mich nicht dazu fähig fühlte, etwas einigermaßen Lesenswertes von objektivem Charakter über das Eidgenössische Polytechnikum zu sagen, blieb nur der Ausweg, etwas über mein persönliches Erleben zu berichten, soweit es mit dem Polytechnikum irgendwie in Beziehung steht. Dazu war es vor allem nötig, einen inneren Widerstand zu überwinden, der etwas zu tun hat mit der Berufs-Psychologie des exakten Wissenschaftlers. Obwohl dieser nämlich wie alle anderen Glieder der Spezies, die sich in euphemistischer Weise selber als «*homo sapiens*» bezeichnet, keineswegs frei ist von Eitelkeit, widerstrebt es ihm doch lebhaft, etwas über sich selber zu veröffentlichen. Seine Ausbildung und sein wissenschaftliches Streben beschränken ihn auf die objektiven, begrifflich erfaßbaren Dinge.

Gegen diese wohlthuende und befreiende Situation versündige ich mich hier vorsätzlich. Ich sündige aber nicht ohne Plan und in maßloser Weise. Es kann doch auch für den objektiv eingestellten Leser von einigem Interesse sein zu erfahren, was ein Individuum auf seinen Weg gebracht und ihn dazu gezwungen hat, sich in einer besonderen Weise zu entwickeln. Auch bietet mir diese Sünde eine willkommene Gelegenheit, einiger Persönlichkeiten zu gedenken, denen ich besonders viel verdanke.

1895 kam ich als Sechzehnjähriger aus Italien nach Zürich, nachdem ich ohne Schule und ohne Lehrer in Mailand bei meinen Eltern ein Jahr verbracht hatte. Mein Ziel war die Aufnahme ins Polytechnikum, ohne daß ich mir darüber klar war, wie ich dies anstellen sollte. Ich war ein eigenwilliger, aber bescheidener junger Mensch, der sich seine lückenhaften einschlägigen Kenntnisse in der Hauptsache durch Selbststudium erworben hatte. Gierig nach tieferem Verstehen aber rezeptiv wenig begabt und mit einem schlechten Gedächtnis behaftet, erschien mir das Studium keineswegs als eine leichte Aufgabe. Mit einem Gefühl wohlbe gründeter Unsicherheit meldete ich mich zur Aufnahmeprüfung in die Ingenieur-Abteilung. Die Prüfung zeigte mir schmerzlich die Lückenhaftigkeit meiner Vorbildung, trotzdem die Prüfenden geduldig und verständnisvoll waren. Daß ich durchfiel empfand ich als voll berechtigt. Tröstlich aber war es, daß der Physiker H. F. Weber mir sagen ließ, ich dürfe seine Kollegs hören, wenn ich in Zürich

bliebe. Der Direktor, Prof. Herzog, aber empfahl mich an die Kantonsschule in Aarau, wo ich nach einjährigem Studium die Matur bestand. Diese Schule hat durch ihren liberalen Geist und durch den schlichten Ernst der auf keinerlei äußerliche Autorität sich stützenden Lehrer einen unvergeßlichen Eindruck in mir hinterlassen. Durch Vergleich mit sechs Jahren Schulung an einem deutschen autoritär geführten Gymnasium wurde mir eindringlich bewußt, wie sehr die Erziehung zu freiem Handeln und Selbstverantwortlichkeit jener Erziehung überlegen ist, die sich auf Drill, äußere Autorität und Ehrgeiz stützt. Echte Demokratie ist kein leerer Wahn.

Während dieses Jahres in Aarau kam mir die Frage: Wenn man einer Lichtwelle mit Lichtgeschwindigkeit nachläuft, so würde man ein zeitunabhängiges Wellenfeld vor sich haben. So etwas scheint es aber doch nicht zu geben! Dies war das erste kindliche Gedanken-Experiment, das mit der speziellen Relativitätstheorie zu tun hat. Das Erfinden ist kein Werk des logischen Denkens, wenn auch das Endprodukt an die logische Gestalt gebunden ist.

1896—1900 Studium an der Fachlehrer-Abteilung des Eidgenössischen Polytechnikums. Ich merkte bald, daß ich mich damit zu begnügen hatte, ein mittelmäßiger Student zu sein. Um ein guter Student zu sein, muß man eine Leichtigkeit der Auffassung haben, Willigkeit, seine Kräfte auf all das zu konzentrieren, was einem vorgetragen wird, Ordnungsliebe, um das in den Vorlesungen Dargebotene schriftlich aufzuzeichnen und dann gewissenhaft auszuarbeiten. All diese Eigenschaften fehlten mir gründlich, was ich mit Bedauern feststellte. So lernte ich allmählich mit einem einigermaßen schlechten Gewissen in Frieden zu leben und mir das Studium so einzurichten, wie es meinem intellektuellen Magen und meinen Interessen entsprach. Einigen Vorlesungen folgte ich mit gespanntem Interesse. Sonst aber «schwänzte» ich viel und studierte zu Hause die Meister der theoretischen Physik mit heiligem Eifer. Dies war an sich gut und diente auch dazu, das schlechte Gewissen so wirksam abzuschwächen, daß das seelische Gleichgewicht nicht irgendwie empfindlich gestört wurde. Dies ausgedehnte Privatstudium war einfach die Fortsetzung früherer Gewohnheit; an diesem nahm eine serbische Studentin teil, Mileva Maric, die ich später heiratete. Mit Eifer und Leidenschaft aber arbeitete ich in Professor H. F. Webers physikalischem Laboratorium. Auch faszinierten mich Professor Geisers Vorlesungen über Infinitesimalgeometrie, die wahre Meisterstücke pädagogischer Kunst waren und mir später beim Ringen um die allgemeine Relativitätstheorie sehr halfen. Sonst aber interessierte mich in den Studienjahren die höhere Mathematik wenig. Irrigerweise schien es mir, daß dies ein so verzweigtes Gebiet sei, daß man leicht seine ganze Energie in einer entlegenen Provinz davon verschwenden könne. Auch meinte ich in meiner Unschuld, daß es für den Physiker genüge, die elementaren mathematischen Begriffe klar erfaßt und für die Anwendung bereit zu haben,

und daß der Rest in für den Physiker unfruchtbaren Subtilitäten bestehe — ein Irrtum, den ich erst später mit Bedauern einsah. Die mathematische Begabung war offenbar nicht hinreichend, um mich in den Stand zu setzen, das Zentrale und Fundamentale von dem Peripheren, nicht prinzipiell Wichtigen zu unterscheiden.

In diesen Studienjahren entwickelte sich eine richtige Freundschaft mit einem Studien-Kollegen, Marcel Großmann. Mit ihm ging ich jede Woche einmal feierlich ins Café Metropol am Limmatquai und sprach mit ihm nicht nur über das Studium, sondern darüber hinaus über alle Dinge, die junge Menschen mit offenen Augen interessieren können. Er war nicht so eine Art Vagabund und Eigenbrödler wie ich, sondern einer, der in dem schweizerischen Milieu verankert war, ohne dabei die innere Selbständigkeit irgendwie zu verlieren. Außerdem hatte er gerade jene Gaben in reichem Maße, die mir fehlten: rasche Auffassungsgabe und Ordnung in jedem Sinne. Er besuchte nicht nur alle für uns in Betracht kommenden Vorlesungen, sondern arbeitete sie auch in so vorzüglicher Weise aus, daß man seine Hefte sehr wohl gedruckt hätte herausgeben können. Zur Vorbereitung für die Examina lieh er mir diese Hefte, die für mich einen Rettungsanker bedeuteten; wie es mir ohne sie ergangen wäre, darüber will ich lieber nicht spekulieren.

Trotz dieser unschätzbaren Hilfe und trotzdem die uns vorgetragenen Gegenstände alle an sich interessant waren, mußte ich mich doch sehr überwinden, all diese Dinge gründlich zu lernen. Für Menschen meiner Art von grüblerischem Interesse ist das Universitäts-Studium nicht unbedingt segensreich. Gezwungen so viele gute Sachen zu essen, kann man sich dauernd den Appetit und den Magen verderben. Das Lichtlein der heiligen Neugier kann dauernd verlöschen. Glücklicherweise hat bei mir diese intellektuelle Depression nach glücklicher Beendigung des Studiums nur ein Jahr angehalten.

Das Größte, was Marcel Großmann als Freund für mich getan hat, war dies. Etwa ein Jahr nach Beendigung des Studiums empfahl er mich mit Hilfe seines Vaters an den Direktor (Haller) des Schweizerischen Patentamtes (das damals «Amt für Geistiges Eigentum» hieß). Nach eingehender mündlicher Prüfung hat Herr Haller mich dort angestellt. Dadurch wurde ich 1902—1909 in den Jahren besten produktiven Schaffens von Existenz-Sorgen befreit. Davon ganz abgesehen war die Arbeit an der endgültigen Formulierung technischer Patente ein wahrer Segen für mich. Sie zwang zu vielseitigem Denken, bot auch wichtige Anregungen für das physikalische Denken. Endlich ist ein praktischer Beruf für Menschen meiner Art ein Segen. Denn die akademische Laufbahn versetzt einen jungen Menschen in eine Art Zwangslage, wissenschaftliche Schriften in impressiver Menge zu produzieren — eine Verführung zur Oberflächlichkeit, der nur starke Charaktere zu widerstehen vermögen. Die meisten praktischen Berufe sind ferner

von solcher Art, daß ein Mensch von normaler Begabung das zu leisten vermag, was von ihm erwartet wird. Er ist in seiner bürgerlichen Existenz nicht von besonderen Erleuchtungen abhängig. Hat er tiefere wissenschaftliche Interessen, so mag er sich neben seiner Pflichtarbeit in seine Lieblingsprobleme versenken. Die Furcht, daß seine Bemühungen ohne Ergebnis bleiben können, braucht ihn nicht zu bedrücken. In solch glücklicher Lage zu sein verdanke ich Marcel Großmann.

Von den Erlebnissen wissenschaftlicher Art, die jene glücklichen Berner Jahre brachten, erwähne ich nur ein einziges, das sich als die fruchtbarste Idee meines Lebens erwies. Die spezielle Relativitätstheorie war schon einige Jahre alt. War das Relativitätsprinzip auf Inertialsysteme beschränkt, d. h. auf Koordinatensysteme, die relativ zueinander *gleichförmig* bewegt sind (lineare Koordinatentransformationen)? Der formale Instinkt sagt: «Wahrscheinlich nicht.» Die Grundlage aller bisherigen Mechanik — das Trägheits-Prinzip — schien aber jede Erweiterung des Relativitätsprinzips auszuschließen. Wenn man nämlich ein (relativ zu einem Inertialsystem) beschleunigtes Koordinatensystem eingeführt, so bewegt sich relativ zu diesem ein «isolierter» Massenpunkt nicht mehr geradlinig und gleichförmig. Ein von hemmenden Denk-Gewohnheiten freier Geist hätte nun gefragt: Gibt mir dies Verhalten ein Mittel in die Hand, ein Inertialsystem von einem Nicht-Inertialsystem zu unterscheiden? Er hätte dann (wenigstens im Falle geradlinig-gleichförmiger Beschleunigung) zum Ergebnis kommen müssen, daß dies nicht der Fall ist. Denn man konnte das mechanische Verhalten der Körper relativ zu einem so beschleunigten Koordinatensystem auch als Wirkung eines Gravitationsfeldes interpretieren; dies wird möglich gemacht durch die empirische Tatsache, daß auch in einem Gravitationsfeld die Beschleunigung der Körper unabhängig von ihrer Natur stets dieselbe ist. Diese Erkenntnis (Äquivalenz-Prinzip) machte es nicht nur wahrscheinlich, daß die Naturgesetze einer allgemeineren Transformationsgruppe als der Gruppe der Lorentz-Transformationen gegenüber invariant sein müssen (Erweiterung des Relativitätsprinzips), sondern auch daß diese Erweiterung zu einer vertieften Theorie des Gravitationsfeldes führen werde. Daß dieser Gedanke im Prinzip richtig war, daran zweifelte ich nicht im mindesten. Aber die Schwierigkeiten seiner Durchführung schienen fast unüberwindlich. Zunächst ergaben elementare Überlegungen, daß der Übergang zu einer weiteren Transformationsgruppe unvereinbar ist mit einer direkten physikalischen Interpretation der Raum-Zeit-Koordinaten, welche den Weg zur speziellen Relativitätstheorie geebnet hatte. Ferner war zunächst nicht abzusehen, wie die erweiterte Transformationsgruppe zu wählen sei. In Wahrheit gelangte ich zu diesem Äquivalenz-Prinzip auf einem Umwege, dessen Beschreibung hier nicht am Platze ist.

1909—1912, während ich an der Zürcher und an der Prager Universität theoretische Physik zu lehren hatte, grübelte ich unablässig über das Problem nach.

1912, als ich ans Zürcher Polytechnikum berufen wurde, war ich der Lösung des Problems schon erheblich näher gekommen. Von Wichtigkeit erwies sich hier H. Minkowskis Analyse der formalen Grundlage der speziellen Relativitätstheorie. Sie läßt sich in den Satz kondensieren: Der vierdimensionale Raum hat eine (invariante) pseudo-euklidische Metrik; diese bestimmt die experimentell konstatierbaren metrischen Eigenschaften des Raumes sowie das Trägheitsprinzip und darüber hinaus die Form der Lorentz-invarianten Gleichungs-Systeme. In diesem Raum gibt es bevorzugte, nämlich quasikartesische Koordinatensysteme, welche hier die einzig «natürlichen» sind (Inertialsysteme).

Das Äquivalenz-Prinzip veranlaßt uns, in einem solchen Raume nicht-lineare Koordinaten-Transformationen einzuführen, d. h. nicht-kartesische («krümmelige») Koordinaten. Die pseudo-euklidische Metrik nimmt dabei die allgemeine Form an $ds^2 = \sum g_{ik} dx_i dx_k$ (summiert über die Indizes i und k [von 1 bis 4]). Diese g_{ik} sind dann Funktionen der vier Koordinaten, die gemäß dem Äquivalenz-Prinzip außer der Metrik auch das «Gravitationsfeld» beschreiben. Dies letztere ist freilich hier von ganz besonderer Art. Denn es läßt sich ja durch Transformation in die spezielle Form $-dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2 + dx_4^2$ bringen, d. h. in eine Form, in welcher die g_{ik} von den Koordinaten unabhängig sind. In diesem Falle läßt sich das durch die g_{ik} beschriebene Gravitationsfeld «wegtransformieren». In der letzteren speziellen Form drückt sich das Trägheitsverhalten isolierter Körper durch eine (zeitartige) gerade Linie aus. In der allgemeinen Form entspricht dem die «geodätische Linie».

Diese Formulierung bezog sich zwar immer noch auf den Fall des pseudo-euklidischen Raumes. Sie zeigte aber deutlich wie der Übergang zu Gravitationsfeldern allgemeiner Art zu erreichen war. Auch hier ist das Gravitationsfeld durch eine Art Metrik, d. h. durch ein symmetrisches Tensor-Feld g_{ik} zu beschreiben. Die Verallgemeinerung besteht einfach darin, daß nun die Voraussetzung fallen gelassen wird, daß dies Feld durch bloße Koordinaten-Transformation in ein pseudo-euklidisches verwandelt werden könne.

Das Problem der Gravitation war damit reduziert auf ein rein mathematisches. Gibt es Differentialgleichungen für die g_{ik} , welche invariant sind gegenüber nicht-linearen Koordinaten-Transformationen? Solche Differentialgleichungen und *nur* solche kamen als Feldgleichungen des Gravitationsfeldes in Betracht. Das Bewegungsgesetz materieller Punkte war dann durch die Gleichung der geodätischen Linie gegeben.

Mit dieser Aufgabe im Kopf suchte ich 1912 meinen alten Studienfreund Marcel Großmann auf, der unterdessen Professor der Mathematik am Eidgenössischen Polytechnikum geworden war. Er fing sofort Feuer, obwohl er der Physik gegenüber als echter Mathematiker eine etwas skeptische Einstellung hatte. Als wir noch beide Studenten waren und in gewohnter Weise beim Kaffee

unsere Gedanken austauschten, machte er einmal eine so hübsche und charakteristische Bemerkung, daß ich nicht umhin kann, sie hier zu zitieren:

«Ich gebe zu, daß ich aus dem Studium der Physik doch etwas Wesentliches profitiert habe. Wenn ich mich früher auf einen Stuhl setzte, und ich fühlte noch etwas von der Wärme durch, die von meinem «Vor-Sitzenden» stammte, so grauste es mir ein bißchen. Dies ist völlig vergangen; denn die Physik hat mich darüber belehrt, daß die Wärme etwas ganz Unpersönliches ist.»

So kam es, daß er zwar gerne bereit war, an dem Problem mitzuarbeiten, aber doch mit der Einschränkung, daß er keine Verantwortung für irgendwelche Behauptungen und Interpretationen physikalischer Art zu übernehmen hatte. Er durchmusterte die Literatur und entdeckte bald, daß das angedeutete mathematische Problem insbesondere durch Riemann, Ricci und Levi-Civita bereits gelöst war. Diese ganze Entwicklung schloß sich an die Gaußsche Theorie der Flächen-Krümmung an, in der zum ersten Male von verallgemeinerten Koordinaten systematisch Gebrauch gemacht war. Riemanns Leistung war die größte. Er zeigte, wie aus dem Felde der g_{ik} Tensoren der zweiten Differentiationsstufe gebildet werden können. Daraus war zu ersehen, wie die Feldgleichungen der Gravitation lauten müssen — falls Invarianz gegenüber der Gruppe aller kontinuierlichen Koordinaten-Transformationen gefordert wird. Daß diese Forderung gerechtfertigt sei, war aber nicht so leicht einzusehen, zumal ich Gründe dagegen gefunden zu haben glaubte. Diese, allerdings irrtümlichen, Bedenken brachten es mit sich, daß die Theorie erst 1916 in ihrer endgültigen Form erschien.

Während ich mit meinem alten Freunde eifrig zusammenarbeitete, dachte keiner von uns daran, daß ein tückisches Leiden so bald diesen vortrefflichen Mann dahinraffen würde. Den Mut, diese etwas bunte autobiographische Skizze als Beitrag zu dieser Festschrift einzusenden, gab mir das Bedürfnis, wenigstens einmal im Leben meiner Dankbarkeit für Marcel Großmann Ausdruck zu geben.

Seit der Beendigung der Gravitationstheorie sind nun 40 Jahre vergangen. Sie waren fast ausschließlich der Bemühung gewidmet, aus der Theorie des Gravitationsfeldes durch Verallgemeinerung eine Feldtheorie zu gewinnen, die eine Grundlage für die gesamte Physik bilden könnte. Viele arbeiteten an dem gleichen Ziele. Mehrere hoffnungsvoll erscheinende Aufsätze habe ich nachträglich verworfen. Die letzten zehn Jahre aber führten endlich zu einer Theorie, die mir natürlich und hoffnungsvoll erscheint. Daß ich mich aber nicht zu überzeugen vermag, ob ich selber diese Theorie für physikalisch wertvoll halten soll oder nicht, liegt in vorläufig unüberwindlichen mathematischen Schwierigkeiten begründet, wie sie übrigens jede nichtlineare Feldtheorie für die Anwendung bietet. Außerdem erscheint es überhaupt zweifelhaft, ob eine Feldtheorie von der atomistischen Struktur der Materie und der Strahlung sowie von den Quanten-Phänomenen Rechenschaft geben kann. Die meisten Physiker werden unbedenk-

lich mit einem überzeugten «Nein» antworten, da sie glauben, daß das Quantenproblem *in anderer Art* im Prinzip gelöst sei. Wie dem auch sei, bleibt uns Lessings tröstliches Wort, das Streben nach der Wahrheit sei köstlicher als deren gesicherter Besitz.

© ETH-Bibliothek, Zürich - Archive und Nachlässe