Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 18

Artikel: Die Einsteinsche Relativitätstheorie
Autor: Weyl, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37342

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: 12.07.2025

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

INHALT: Die Einsteinsche Relativitätstheorie. — Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G. — Ueber die Bewegungen der Hauptpfeiler-Köpfe der Trisannabrücke an der Arlbergbahn. — Miscellanea: Drahtlose Bildübertragung. Simplon-Tunnel II. Die Wirkung des achtstündigen Arbeitstages im Baugewerbe. Lagermetall mit 40% Graphit. Ueber eine Anwendung der Zementkanone im Stollenbau. Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. — Nekrologie: C. Grass. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizer. Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittlung.
Tafeln 3 und 4: Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G.

Band 78. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 18.**

Die Einsteinsche Relativitätstheorie.

Von Prof. Dr. *H. Weyl* an der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.[1])

I.

Bei der Verabredung einer Zusammenkunft müssen *Ort und Zeit* des Zusammentreffens abgemacht werden, wenn man sich nicht verfehlen will. Die Begegnung selbst wird stattfinden an einer bestimmten „Raum-Zeit-Stelle". Was in einem bestimmten Augenblick meines wachen Lebens für mich da ist, ist ein „Hier-Jetzt". Ein Ereignis von winziger räumlicher und zeitlicher Ausdehnung, etwa das Startsignal bei einem Rennen oder das Aufblitzen eines sofort wieder verlöschenden Fünkchens markiert ein solches Hier-Jetzt, einen Raum-Zeitpunkt. Es hat einen von keiner Problematik bedrohten anschaulichen Sinn, von zwei Ereignissen zu sagen, dass sie an derselben oder an unmittelbar benachbarten Raum-Zeit-Stellen geschehen; Menschen, im Begriffe sich die Hand zu reichen, befinden sich zum Beispiel in dieser Lage. Die Raum-Zeit-Punkte oder, wie wir von jetzt ab kürzer sagen wollen, die Weltpunkte, hängen miteinander stetig zusammen. Der Fluss unseres Lebens gleitet entlang an einer solchen raumzeitlichen Kontinuität der Aussenwelt. Was aber heisst es, wenn wir von zwei Ereignissen behaupten, sie seien am gleichen Ort geschehen (wenn auch zu verschiedenen Zeiten), oder sie seien gleichzeitig eingetreten (wenn auch an verschiedenen Orten)? Das Fragwürdige dieser Zerspaltung der Welt in Raum und Zeit geht einem auf, wenn man den Abgrund erfühlt, der getrennte „Hier-Jetzt" voneinander scheidet. Wird die Kluft zwischen zwei Ereignissen, etwa hier und auf dem Sirius, geringer dadurch, dass sie zur selben Zeit geschehen? Ist die Kluft zwischen zwei Ereignissen in Zürich geringer, wenn zwischen ihnen ein Jahr liegt (nach Kopernikus geschehen sie dann nämlich an der gleichen Raumstelle), als wenn sie durch den Zeitraum eines Monats (wo das nicht der Fall ist) voneinander getrennt sind? Die Relativitätstheorie leugnet geradezu, dass sich in der Welt auf absolute Weise die zeitliche von den räumlichen Dimensionen trennen lässt.

Demokrit, der grosse Philosoph von Abdera, behauptete, die Welt bestünde aus unveränderlichen Atomen, die im Raume von oben nach unten fielen. Er nahm also an, dass im Raume eine ausgezeichnete Richtung „von oben nach unten" vorhanden sei, dass sich im Raume auf absolute Weise voneinander trennen die vertikale und die beiden horizontalen Dimensionen. Seitdem die Kugelgestalt der Erde entdeckt wurde, ist diese Vorstellung haltlos geworden. Wir wissen heute, dass jene Richtung nicht dem Raume an sich zukommt, sondern eine materielle Ursache hat, die nach dem Erdmittelpunkt ziehende Schwerkraft der Erde, und dass daher von oben und unten im Raume nur *relativ zu einem bestimmten Standort* auf der Erde die Rede sein kann. In genau dem gleichen Sinne, wie hier etwas als relativ sich herausstellte, was früher für absolut gehalten wurde, zeigt die Relativitätstheorie, dass die Aussagen „am gleichen Ort" und „zur gleichen Zeit" nicht absolut, sondern nur relativ, nämlich relativ zu einem festen Bezugskörper einen Sinn haben.

In der Tat: wollen wir im täglichen Leben einen *Ort* bezeichnen, so geben wir nicht einen Raumpunkt an — wie sollte das auch möglich sein, da ja kein Raumpunkt an sich, seiner Beschaffenheit nach, von einem andern unterschieden ist, und ich also auch gar nicht in der Lage bin, „denselben Raumpunkt" zu verschiedenen Zeiten festzuhalten —, sondern eine an ihrer materiellen Beschaffenheit kenntliche und dadurch von andern unterschiedene Stelle der Erde, die wir unter Umständen durch eine besondere, fest mit der Erde verbundene Marke fixieren (z. B. Strassenschilder). Wo im täglichen Leben von Ruhe oder Bewegung die Rede ist — die Häuser stehen still, das Schiff fährt mit so und so viel Knoten Geschwindigkeit — ist darunter immer Ruhe und Bewegung relativ zur festen Erde zu verstehen. Auf Grund der geometrischen Lagebeziehungen, welche zwischen den verschiedenen Stellen eines festen Körpers bestehen, können wir die direkte Ortsangabe durch Hinweis auf die an der betreffenden Stelle P befindliche Marke vorteilhaft durch eine indirekte ersetzen; in einer Ebene genügt dazu z. B. die Angabe der Entfernungen von zwei festen Marken A, B (diese Zahlen geben an, wie oft ich einen starren Stab, der von A bis B reicht, hintereinander in gerader Linie abtragen muss, um von A bezw. B bis P zu gelangen). Hier kommt man also mit zwei festen Marken aus, während die direkte Ortsangabe voraussetzt, dass der Bezugskörper mit Marken überall dicht besät ist. Und vor allem gestattet uns das indirekte geometrische Verfahren, ideell Marken auch ins Leere zu setzen. Immer aber benötigen wir einen festen Körper als Basis.

Als daher Kopernikus verkündete, dass die Erde sich bewege, stellte er keine Lehre auf, über deren Wahrheit oder Falschheit man streiten konnte, sondern er sagte etwas Sinnloses. Der wahre Kern seiner Lehre ist aber dieser: „Die Begriffe Ruhe und Bewegung haben nur relative Bedeutung. Für die irdischen Verhältnisse ist es gewiss das zweckmässigste, die feste Erde als Bezugskörper zu wählen; für die Betrachtung des Kosmos aber geniesst sie kein Vorzugsrecht, sondern hier wird das Festhalten an diesem Bezugskörper zur menschlichen Anmassung. Die Gesetze des Planetenlaufs werden viel *einfacher,* und es offenbart sich eine innere Harmonie, die sonst verborgen bliebe, wenn ich ihre Bahnen relativ zur Sonne konstruiere statt relativ zur Erde." — Dem mittelalterlichen Menschen war das Menschengeschlecht alleiniger Träger des göttlichen Geistes; an ihm und nur an ihm hatte daher auch der Sohn Gottes sein Erlösungswerk zu vollziehen gehabt. Den Menschen und ihrem Wohnort, der Erde, kam damit im All eine absolute, einmalige Bedeutung zu. Die Tat des Kopernikus wurde zur Weltanschauungswende, weil sie diesen Glauben an die absolute Bedeutung der Erde, der im Geistig-Religiösen wurzelte, vom Kosmischen her zerbrach. —

Die eben entwickelte, für die Vernunft evidente Erkenntnis von der Relativität der Bewegung, welche offenbar besagt, dass unter den möglichen Bewegungszuständen eines Körpers keiner ausgezeichnet ist, hat einen schweren Stand gegenüber der Erfahrung. Denn die Erfahrung zeigt z. B., dass an rotierenden Körpern Zentrifugalkräfte auftreten, die den Körper spannen, vielleicht bis zum Zerreissen; am „ruhenden" ist davon nichts zu bemerken. Und die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens kann nur im Bewegungszustand erblickt werden. Hier drängen sich also doch innere — freilich dynamische, nicht kinematische — Unterschiede der Bewegungszustände geradezu auf; es sieht so aus, als bestünde in der Welt eine Art zwangsweise „Führung", die einem Körper, wenn man ihn in bestimmter Richtung mit bestimmter Geschwindigkeit loslässt, eine ganz bestimmte „natürliche Bewegung" aufnötigt, aus der er nur durch äussere Einwirkung herausgeworfen werden kann. Das besagt ja in der Tat das Galileische *Trägheitsprinzip.* Um es genau zu formulieren, fassen wir nur die Vorgänge auf einer festen Ebene ins

[1]) Vortrag gehalten im «Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein» am 24. Nov. 1920; vgl. Protokoll Bd LXXVI, S. 268 (4. Dez. 1920).

Auge, z. B. auf einem ebenen Stück der Erdoberfläche oder einer ebenen Metallplatte. Ein auf ihr sich bewegender Massenpunkt hinterlasse eine materielle, fest mit der Platte verbundene Spur, wie es die Bleistiftspitze auf dem Papier tut. Ausserdem markieren wir, um das zeitliche Gesetz der Bewegung nicht zu verlieren, auf dieser Spur die Orte, wo sich der Punkt etwa von Minute zu Minute befindet; diese Zeit („Eigenzeit") muss gemessen werden mittels einer kleinen, mit dem Massenpunkt verbundenen und an seiner Bewegung teilnehmenden Taschenuhr. Ist die Bahn eine Gerade und sind diese auf ihr markierten Punkte äquidistant (wie klein auch die Periode der Uhr gewählt sein mag), so bewegt sich der Punkt „geradlinig mit gleichförmiger Geschwindigkeit", er führt eine „Translation" aus. Galilei fand, dass die „natürlichen Bewegungen" von Massen relativ zur Erde mit grosser Annäherung Translationen sind. Er stellte daher das allgemeine Prinzip auf: *Natürliche Bewegungen sind Translationen.* Einen Bezugskörper, relativ zu dem dieses Prinzip gültig ist, wollen wir einen *berechtigten Bezugskörper* nennen. Die Erde ist es in erster Annäherung; aber doch nur in erster Annäherung; mit weit grösserer Genauigkeit trifft es für die Sonne zu. *Relativ zu einem solchen berechtigten Bezugskörper vollzieht die Erde die bekannten, ihr im kopernikanischen Weltsystem zugeschriebenen Bewegungen.* Die wahre Meinung des Galileischen Prinzips also ist die, dass es ideell möglich ist, einen berechtigten Bezugskörper zu konstruieren; d. h. man kann die relative Bewegung eines solchen Bezugskörpers inbezug auf unsern festen Standort, die Erde, aus dem Verlaufe der Naturerscheinungen mit jeder gewünschten Genauigkeit bestimmen. Auf einen berechtigten Bezugskörper beziehen sich in Strenge die Aussagen über Ruhe, Bewegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung in der wissenschaftlichen Mechanik. Sind aber A und B zwei derartige Körper, so braucht B keineswegs inbezug auf A zu ruhen; jedoch ist seine Bewegung inbezug auf A stets eine gleichförmige Translation (d. h. alle Stellen von B führen relativ zu A eine reine Translationsbewegung aus). Zwischen Ruhe und Translation besteht also auch in dynamischer Hinsicht kein Unterschied, wohl aber zwischen Ruhe und Rotation. In einem mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf geradliniger Strecke dahinfahrenden Eisenbahnzug spielen sich alle mechanischen und physikalischen Vorgänge ebenso ab, wie wenn der Eisenbahnzug ruhte; sobald er aber durch eine Kurve fährt oder gebremst wird, kann man das, wie jedermann bekannt, ohne aus dem Zuge hinauszuschauen, am Ablauf der Vorgänge im Zuge merken. Das zu Beginn dieses Absatzes hervorgehobene Dilemma zwischen Vernunft und Erfahrung bleibt vorerst bestehen.

Soviel über die Relativität des Ortes. Ich komme jetzt zur *Relativität der Gleichzeitigkeit.*

Es ist die Form meines inneren Lebens, dass seine Inhalte sich verdrängen in *zeitlicher Sukzession.* Dies innere Leben aber fühlt sich wahrnehmend, leidend und handelnd verflochten mit einer wirklichen Welt, in die es selber durch den Leib hineingebannt ist. Indem ich als naiver Mensch mit voller Selbstverständlichkeit die Dinge, die ich sehe, in den Zeitpunkt ihrer Wahrnehmung setze, dehne ich meine Zeit über die ganze Welt aus; daher glaube ich, dass ein von mir gesprochenes „Jetzt" nicht nur den Ablauf meines Lebens trennt in Vergangenheit und Zukunft, sondern mit einem Hieb diesen Schnitt hindurchlegt durch die ganze Breite der Welt. Aber das Fundament dieser Ansicht ist erschüttert seit der Entdeckung der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes (c = 300 000 km in der Sekunde). Betrachten wir wieder die Vorgänge auf einer festen Ebene E. Sie sei ein berechtigter Bezugskörper im Sinne des Galileischen Prinzips. Zum Zwecke der direkten Ortsangabe ist die Ebene mit festen Marken, etwa Türmen besät; an jedem Turm befinde sich eine Uhr. Die Uhren sind von A aus reguliert, wenn ein Beobachter auf dem Turm A von ihnen allen die gleiche Zeigerstellung abliest. Ist aber diese Regulierung von der Wahl des Zentrums A unabhängig? Nein. Sind A und B zwei Türme, die 300 000 km voneinander entfernt sind, so wird bei der von A aus vorgenommenen Regulierung der Uhren einem Beobachter auf dem Turme B die Uhr in A derjenigen in B um zwei Sekunden nachzugehen scheinen. Diese Zeit braucht das Licht, um von B nach A und wieder zurück von A nach B zu kommen; die Hälfte davon nennen wir die „Lichtzeit BA". Die Zeit, während der das Licht den *einen* Weg BA durchläuft, können wir nicht messen, weil wir über kein rascheres Zeitübertragungsmittel verfügen als das Licht; auch die Signale der drahtlosen Telegraphie, welche heute dazu benützt werden, breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Lichtzeit zwischen irgend zwei Türmen ist immer gleich ihrer Entfernung dividiert durch eine feste, für alle Turmpaare gleiche Zahl c. Auf Grund dieser Erfahrungen nehmen wir eine „verbesserte Regulierung" der Uhren vor, indem wir dafür sorgen, dass ein Beobachter in A die Uhr an jedem andern Turm T um die Lichtzeit AT nachgehen sieht. Diese Regulierung ist dann unabhängig vom gewählten Zentrum; sie legen wir zu Grunde, wenn wir von der „Zeit" eines beliebigen Ereignisses in unserer Ebene sprechen. Diese Zeit ist abzulesen *auf der am Orte des Ereignisses befindlichen Uhr.* Nachdem alle Uhren so gerichtet sind, führt offenbar das Auffangen eines in A gegebenen Lichtsignals auf den verschiedenen Türmen zu der Konstatierung: das Licht breitet sich in konzentrischen Kreisen, nämlich nach allen Seiten mit der Geschwindigkeit c aus.

Es ist eine äusserst *merkwürdige Tatsache, dass die geschilderte Regulierung für jeden berechtigten Bezugskörper sich durchführen lässt.* Würden wir statt des Lichtes zur Zeitübertragung das *Schlagen* der Uhren benutzen, so würde die Regulierung der Uhren nur gelingen, falls die Ebene, welche die Türme und Uhren trägt, relativ zur Luft, dem Medium der Schallausbreitung, in Ruhe ist. Von einem durch die Luft sich bewegenden Körper aus aber würde die Ausbreitung des Schalles exzentrisch zu erfolgen scheinen, und jene Erfahrungstatsachen, auf welche sich unsere Regulierung stützt, würden sich als ungültig herausstellen. Dass es sich mit dem Licht anders verhält, beweist mit Evidenz, *dass die Ausbreitung des Lichtes kein Vorgang sein kann, der sich, wie die Schallausbreitung, in einem materiellen Medium abspielt.* Denn dann müssten die optischen Vorgänge erkennen lassen, ob ein Bezugskörper relativ zu diesem Lichtäther ruht oder sich bewegt; da das nicht zutrifft, ist die Hypothese des Lichtäthers gerichtet. Andererseits wird aber klar sein, dass die oben geschilderte Zeitregulierung mit Hilfe des Lichtes von zwei gegeneinander in gleichförmiger Translation befindlichen Bezugskörpern aus *verschieden* ausfallen muss; denn wie sollte sonst von beiden Bezugskörpern aus der Vorgang der Lichtausbreitung als ein konzentrischer erscheinen! *Der Begriff der Gleichzeitigkeit ist also wie der der Gleichortigkeit ein relativer.* Das ist die neue Erkenntniss, zu der sich Einstein im Jahre 1905 durchgerungen hatte und die mit einem Schlage die ungeheuren Schwierigkeiten löste, in die man sich seit Jahrzehnten in der Optik und Elektrodynamik bewegter Körper verwickelt sah. Die durch viele subtile Experimente gestützte Tatsache, dass ein Beobachter, der mit seinen Versuchskörpern in einen geschlossenen Kasten eingesperrt ist, an ihnen quantitativ genau die gleichen Naturerscheinungen feststellt, gleichgültig, ob der Kasten ruht oder sich in Translation befindet, lässt gar keinen andern Ausweg offen. — Es ist eine innere Konsequenz der neuen Lehre, dass *die Geschwindigkeit eines Körpers niemals die Lichtgeschwindigkeit erreichen kann.* In der Tat hat die Beobachtung an Elektronen, die von radioaktiven Körpern ausgeschleudert werden, gezeigt: je näher ihre Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit kommt, eine umso grössere Kraft muss aufgewendet werden, um die Geschwindigkeit weiter zu steigern; der Trägheitswiderstand wächst mit der Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit ins Unendliche. Ebenso ist es ausgeschlossen, dass sich irgend eine Wirkung mit grösserer als Lichtgeschwindigkeit ausbreitet; jede Wirkung aber, die sich im Leeren

fortpflanzt wie das Licht, schreitet *genau* mit Lichtgeschwindigkeit fort. In diesen Tatsachen tritt die absolute Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit zu Tage.

Zum besseren Verständnis dieser Konsequenzen entwerfen wir (nach dem Muster des im Eisenbahnbetrieb gebräuchlichen „graphischen Fahrplans") ein räumliches Abbild der „Welt", des Kontinuums der Weltpunkte (Abb. 1). Die feste Ebene, auf der sich alle von uns betrachteten Vorgänge abspielen, denken wir uns horizontal. Den durch

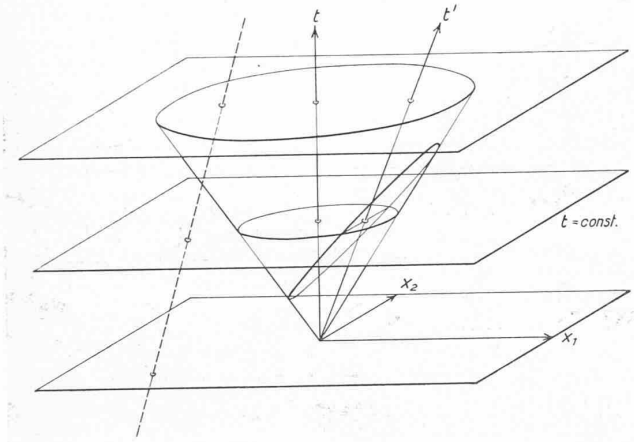


Abb. 1.

folgende Beschreibung gegebenen Raum-Zeit-Punkt „Ort: Marke A unserer Ebene; Zeit: t, abzulesen an der dort befindlichen Uhr" stellen wir dar durch einen in der Höhe t senkrecht über A gelegenen Punkt. Dann liegen die Bilder aller gleichzeitigen Weltpunkte auf horizontalen Ebenen, die Bilder aller gleichortigen auf vertikalen Geraden.

Die Weltpunkte, die ein in Bewegung befindlicher Massenpunkt sukzessive passiert, bilden eine beständig steigende Weltlinie; sie durchsetzt jede der Horizontalebenen an derjenigen Stelle, an welcher sich der Punkt in dem betreffenden Moment befindet. Sie ist eine Gerade, wenn die Bewegung des Massenpunktes eine Translation ist. Die Weltpunkte, in denen ein im Weltpunkt O gegebenes Lichtsignal eintrifft, liegen auf einem vertikal gestellten geraden Kreiskegel („Kegel der Lichtausbreitung" oder kurz „Lichtkegel"). Nach Vor-Einsteinischer Auffassung hat die Welt eine „geschichtete" Struktur. Gleichzeitige Ereignisse liegen in einer Schicht; das Nacheinander dieser Schichten gibt unser Bild wieder durch das Uebereinander der sie darstellenden Horizontalebenen. Die absolute Bedeutung der Schichtebene durch den beliebigen Weltpunkt O beruht darauf, dass sie voneinander scheidet die „zukünftigen" Weltpunkte, *die von O Wirkung empfangen können,* und die „vergangenen", *von denen aus eine Wirkung nach O gelangen kann;* diese beiden Weltbereiche grenzen ohne Zwischenraum aneinander (das Einschlagen einer in O abgefeuerten Kugel kann in einem beliebigen Weltpunkt oberhalb O stattfinden, in die Vergangenheit aber kann ich nicht schiessen; es sind beliebig grosse Geschwindigkeiten möglich). Nach der *neuen* Auffassung aber übernimmt der (nach hinten verlängerte) „Lichtkegel" in O die Rolle, Vergangenheit und Zukunft voneinander zu scheiden. Die Weltlinien aller in O geschleuderten Körper müssen in den vorderen, der Zukunft geöffneten Kegel hineinweisen (so auch die Weltlinie meines eigenen Leibes, meine „Lebenslinie", wenn ich O passiere). Nur auf die Ereignisse in solchen Weltpunkten, die im Innern dieses vordern Kegels liegen, kann das, was in O geschieht, von Einfluss sein; die Grenze wird von der durch den leeren Raum erfolgenden Ausbreitung des Lichtes gegeben. Befinde ich mich in O, so teilt O meine Lebenslinie in Vergangenheit und Zukunft (Abb. 2). Daran ist nichts geändert. Was aber mein Verhältnis zur Welt betrifft, so liegen in dem vordern Kegel alle diejenigen Weltpunkte, auf die mein Tun und Lassen in O von Einfluss ist, ausserhalb desselben alle die Ereignisse, die abgeschlossen hinter mir liegen, an denen jetzt „nichts mehr zu ändern ist"; *der Mantel des vorderen Kegels trennt meine aktive Zukunft von meiner aktiven Vergangenheit.* Hingegen sind im Innern des hintern Kegels alle die Ereignisse lokalisiert, die ich entweder leibhaftig miterlebt (mitangesehen) habe oder von denen mir irgend eine Kunde zugekommen sein kann, nur diese Ereignisse haben möglicherweise Einfluss auf mich gehabt. Ausserhalb desselben aber liegt alles, was ich noch miterleben werde oder noch miterleben würde, wenn meine Lebensdauer unbegrenzt wäre und mein Blick überall hindringen könnte; *der Mantel des hinteren Kegels scheidet meine passive Vergangenheit von meiner passiven Zukunft.* Zwischen aktiver Zukunft und passiver Vergangenheit liegt ein leeres Gebiet, mit dem ich in diesem Augenblick weder aktiv noch passiv irgendwie verbunden bin; und auch während meiner begrenzten Lebensdauer bleibt ein ganzes Weltgebiet frei, dessen Ereignisse nicht den geringsten Einfluss auf mich haben und auf dessen Ereignisse ich nicht den geringsten Einfluss habe. — Auch für einen andern berechtigten (in gleichförmiger Translation begriffenen) Bezugskörper ordnen sich die gleichzeitigen Weltpunkte in unserem Bilde zu lauter parallelen Ebenen E' und die gleichortigen bilden eine Schar paralleler Geraden. Die durch O gehende Gerade (in Abb. 1 mit t' bezeichnet) führt ins Innere des Lichtkegels; sie liegt so, dass sie die von den Ebenen E' aus dem Lichtkegel ausgeschnittenen Ellipsen in deren Mittelpunkten durchstösst (siehe Abb. 1). Jene Ebenen E' werden also gegen die Horizontale geneigt sein, und darin kommt die Relativität der Gleichzeitigkeit zum Ausdruck.

Der Raum besitzt gemäss der Geometrie eine gewisse innere Struktur, unabhängig von dem materiellen Gehalt, der ihn erfüllt; darum können wir an einem Körper die räumliche Konfiguration (Gestalt, Grösse) unterscheiden von seiner materiellen Beschaffenheit. Zufolge dieser inneren Raumstruktur kann etwas Materielles, das ein bestimmtes Raumstück erfüllt, wohl den Ort wechseln, ohne sich zu ändern, indem es bleibt, was es ist, *dabei aber nicht jedes beliebige Raumstück erfüllen,* sondern nur ein dem ersten *kongruentes.* In demselben Sinn können wir nach der inneren Struktur der Welt, der in der vierdimensionalen Welt herrschenden „Geometrie" fragen; ein räumlich-zeitlich scharf begrenztes Ereignis nimmt ein gewisses Weltgebiet G ein; welchen Bedingungen muss ein Weltgebiet genügen, damit es G gleich ist, d. h. damit sich in ihm ein Ereignis abspielen kann, das mit dem ersten in allen Beschaffenheiten übereinstimmt? Die Relativitätstheorie ist nichts anderes als die Antwort auf diese Frage; ich mache sie an

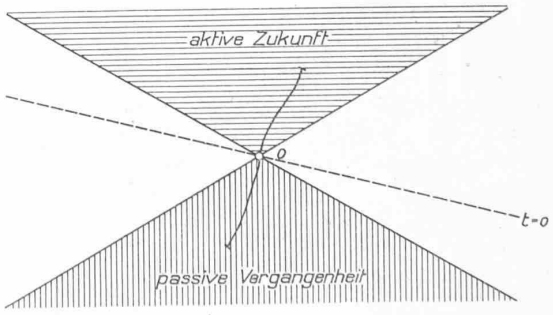


Abb. 2.

unserm räumlichen Bilde deutlich. Nach der gewöhnlichen Auffassung, die einen absoluten Raum und eine absolute Zeit annimmt, sind zwei Weltgebiete im Bilde dann und nur dann gleich, wenn sie durch Parallelverschiebung in horizontaler Richtung und Drehung um die vertikale Zeitaxe auseinander hervorgehen. Die Horizontalebenen, die Schichten, gehen dabei in sich über. Hält man an der absoluten Bedeutung der Gleichzeitigkeit fest, sieht aber

alle Bewegungszustände als gleichberechtigt an, so sind zwei Weltgebiete einander gleich, wenn das eine aus dem andern dadurch entsteht, dass jede Horizontalebene für sich beliebig verschoben und gedreht wird (Richtung und Grösse der Verschiebung können mit der Höhe der Horizontalebene stetig variieren, ebenso der Winkel der Drehung); die Welt wäre also in der Richtung der Zeitaxe völlig strukturlos. Beschränkt man aber die Gleichberechtigung der Bewegungszustände durch das Galileische Trägheitsprinzip, so können ausser einer für alle Schichten gemeinsamen Drehung um die Vertikale, nur solche Schichtenverschiebungen zugelassen werden, welche die vertikalen Geraden wieder in Gerade verwandeln. Die wahre Antwort endlich, welche die Einsteinsche Relativitätstheorie gibt und nach welcher die horizontalen Schichten ihre absolute Bedeutung einbüssen, lässt sich gleichfalls geometrisch ohne Mühe formulieren; immerhin müsste ich dazu einige geometrische Vorbegriffe entwickeln, und so will ich lieber darauf verzichten.

Die vorhin besprochenen physikalischen Vorgänge, sehen wir jetzt, dienten uns nur als ein Mittel, um über *die innere formale Struktur der Welt,* die von der sie erfüllenden Wirklichkeit unabhängig ist, Aufschluss zu erhalten.

Der Schauplatz der Wirklichkeit ist nicht ein stehender dreidimensionaler *Raum,* in dem die Dinge in *zeitlicher* Entwicklung begriffen sind, *sondern die vierdimensionale Welt, in welcher Raum und Zeit unlöslich* miteinander verwachsen sind. Diese objektive Welt *geschieht* nicht, sondern sie *ist* — schlechthin; ein vierdimensionales Kontinuum, aber weder Raum noch Zeit. Nur vor dem Blick des in den Weltlinien der Leiber emporkriechenden Bewusstseins „lebt" ein Ausschnitt dieser Welt „auf" und zieht an ihm vorüber als räumliches, in zeitlicher Wandlung begriffenes Bild.

> Wandernd erwacht ihr. Da beginnt zu gleiten
> der Boden, der euch reglos trug.
> Und unaufhaltsam wächst in euer Schreiten
> des Bildes stiller Weiterzug.
>
> (Scholz, «Der Spiegel».)

So erlebt jedes Individuum seine Geschichte. Untereinander stehen ihre Bewusstseins-Ströme in einem Wirkungszusammenhang, der durch die von uns geschilderte Weltstruktur in seinen Möglichkeiten begrenzt ist. Die Welt selber aber hat keine Geschichte. So kommt in der modernen Physik — nachdem sie sich längst von den Sinnesqualitäten befreit hatte — die grosse Erkenntnis Kants zur Geltung, dass Raum und Zeit nur Formen unserer Anschauung sind ohne Bedeutung, für das Objektive. Anders freilich als die Kantische Philosophie findet die Physik den Mut, das hinter den Erscheinungen verborgene raum- und zeitlose Reich der „Dinge an sich" zu ergründen und in mathematischen Symbolen darzustellen.

(Schluss folgt.)

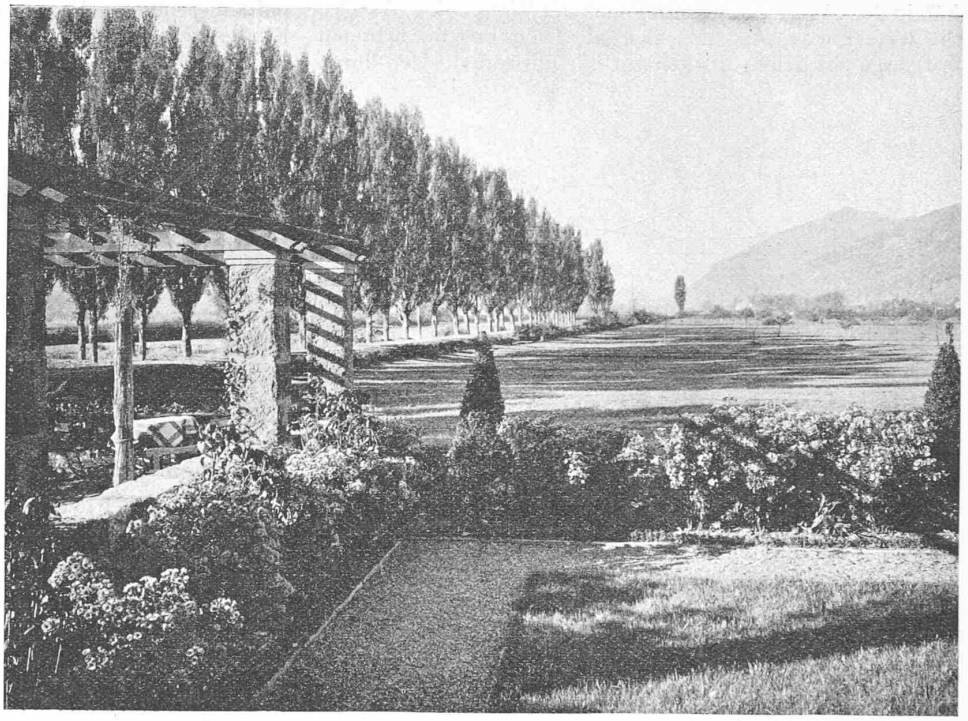
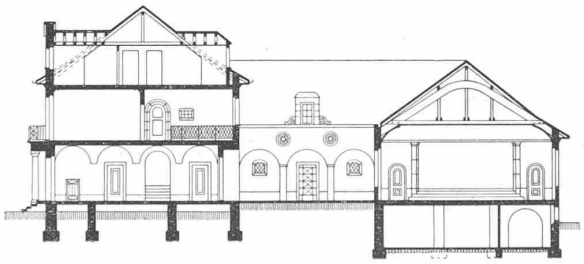


Abb. 6. Blick über die Terrasse Rhone abwärts, gegen Südwest.

Wohlfahrtshaus der A. I. A. G. in Chippis.

Architekten *Müller & Freytag* in Thalwil.

Abb. 4. Schnitt 1 : 400.



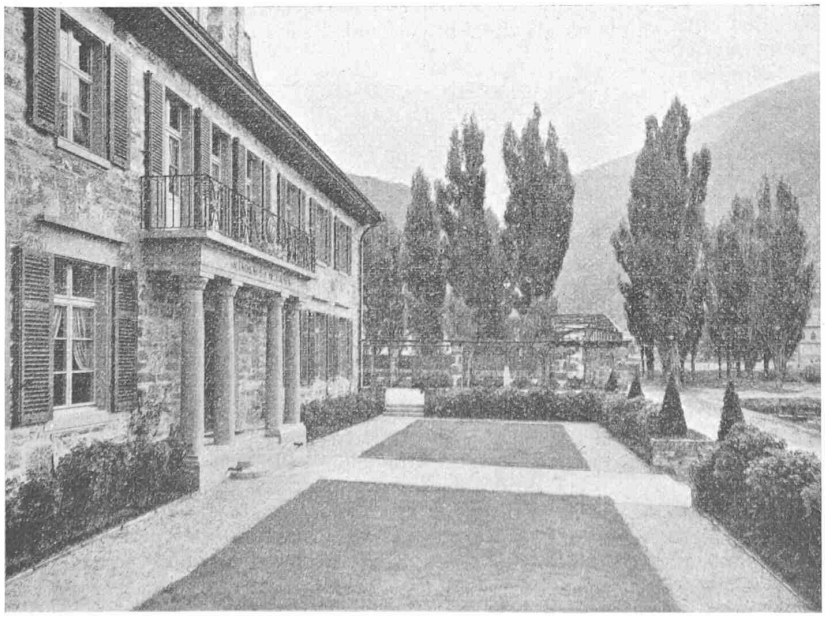
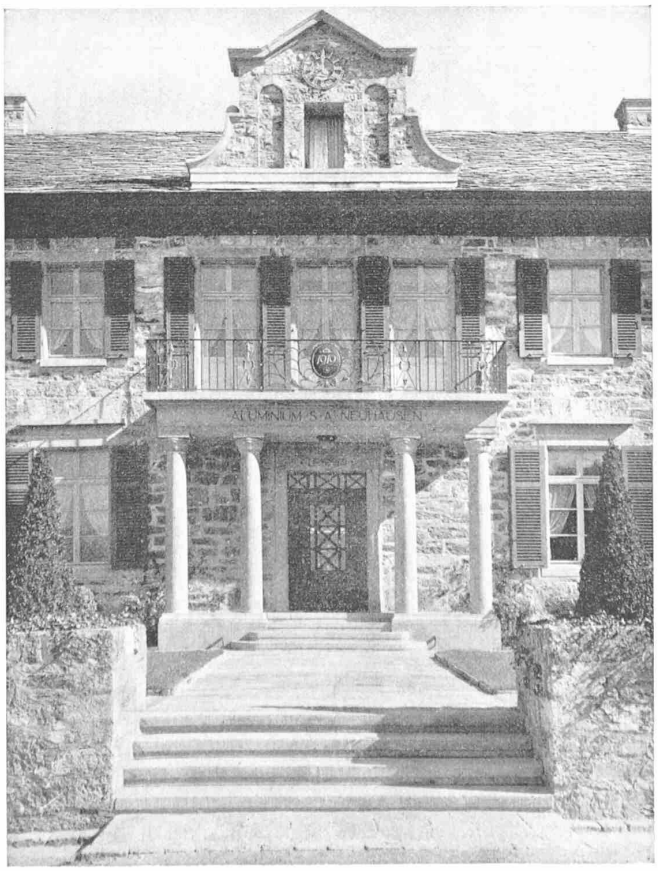


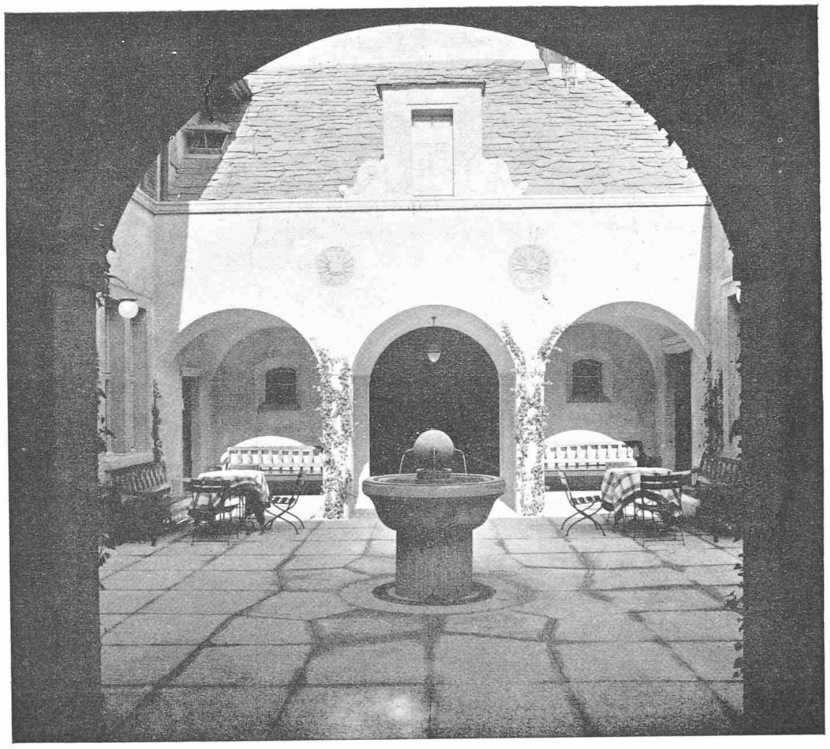
Abb. 5. Terrasse vor dem Mittelbau, gegen die Rhone (S-O) gesehen.

WOHLFAHRTSHAUS IN CHIPPIS DER ALUMINIUM-INDUSTRIE A.-G. NEUHAUSEN

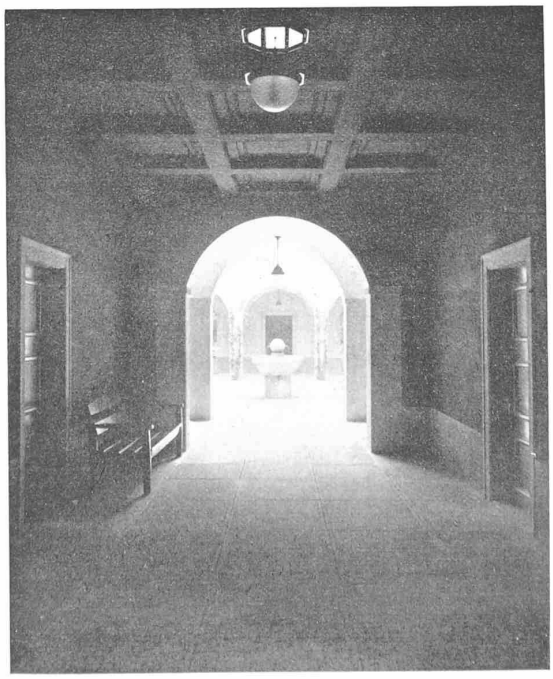
ARCHITEKTEN MÜLLER & FREYTAG IN THALWIL



GESAMTBILD UND HAUPTEINGANG



DER HOF, OBEN GEGEN NORDWEST, UNTEN GEGEN SÜDOST



WOHLFAHRTSHAUS DER A. I. A. G. IN CHIPPIS
ARCHITEKTEN MÜLLER & FREYTAG, THALWIL

Aufnahmen von Ernst Linck, Zürich

Kunstdruck der A.-G. Jean Frey, Zürich