©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die neuen Anschauungen über Raum und Zeit.

Das Relativitätsprinzip.

Von

Dr. Ludwig Flamm.

Vortrag, gehalten den 19. November 1913.

Mit 7 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Raum und Zeit! Welche Wichtigkeit haben sie doch gerade heute im menschlichen Leben. Zeit ist Geld, sagt der Amerikaner. Daß aber auch Raum Geld ist, das fühlt man, wie ich glaube, wohl am meisten in der Großstadt. Auch der Naturforscher ist gewohnt, dem räumlichen und zeitlichen Verlauf der Naturerscheinungen sein Hauptaugenmerk zuzuwenden. Darum ist uns auch allen die Raum- und Zeitanschauung vollkommen vertraut, ja wir glauben beinahe, die richtigen Vorstellungen schon mit auf die Welt zu bringen. Es kommt uns schon so vor, als ob unser Verstand allein, ganz frei von jeder Erfahrung, das Wesen von Raum und Zeit erkenne und als ob wir bloß in ihnen, nicht aber an ihnen neue Erfahrungen machen könnten.

Die neue Entwicklung der Physik lehrt uns eines anderen. Wir kennen heute Erscheinungen, welche zu einer Änderung unserer bisherigen Anschauungen über Raum und Zeit drängen, wovon Ihnen mein heutiger Vortrag ein Bild entwerfen soll. Aber auch die Geschichte der Wissenschaft lehrt, daß in frühester Zeit Raum- und Zeitanschauung sich allmählich erst entwickelt hat und zwar Hand in Hand mit dem Ausbau des astronomischen Weltbildes. Die Entwicklung der Astronomie brachte gleichzeitig eine Entwicklung der Raum- und Zeitvor-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

stellung mit sich und es wird außerordentlich zum Verständnis meines eigentlichen Themas beitragen, wenn ich einiges von diesem historischen Werdegang vorausschicke.

Früh schon mußte der Sternenhimmel mit seinen wechselnden Erscheinungen die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich lenken. Und das erste Weltbild, das sie sich machten, war das des bloßen Augenscheines. Man dachte sich die Erde als eine große Scheibe, auf der, wie ja noch heute unsere Dichter zu sagen pflegen, die blaue Himmelsglocke ruht, darüberhin die leuchtende Sonne zieht, der bleiche Mond und die funkelnden Sterne. Götter waren die Gestirne oder wenigstens von Göttern geführt und die Priester hatten ihren Lauf zu beobachten; die Astronomie war anfänglich Gottesdienst. Doch mit Staunen wurden die Priesteraugen bald gewahr, daß in dem anfänglich ganz regellos erscheinenden Wechsel der Himmelserscheinungen doch eine gewisse Ordnung und regelmäßige Wiederkehr zu beobachten war. Die Götter, die der Mensch fürchtete, die ihm ihre Gunst bald gewährten, bald entzogen mit despotischer Willkür, diese Götter waren also doch nicht ganz Herr ihres Willens, vor einem höheren Geschick mußten sie sich wohl beugen. Oder sollten sie selbst Gesetz und Ordnung wollen? Und so verzeichneten diese Priesterastronomen getreulich alle Erscheinungen von Regelmäßigkeit, die sie am Sternenhimmel wahrnehmen konnten, und wie stieg ihr Ansehen vor dem Volke, als es ihnen gar gelang, Verfinsterungen der Sonne und des Mondes vorherzusagen. Aber auch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sonst am nächtlichen Sternenhimmel hatten sie viele merkwürdige Entdeckungen gemacht. Die Sterne gingen zwar auf und unter wie Sonne und Mond, aber sie änderten ihre gegenseitige Entfernung nicht. Unveränderlich standen sie in bestimmten Gruppen beisammen, an Bilder erinnernd, die sie mit Namen belegten wie Wagen, Schwan, Drache, Löwe usw. Fest prägten sich diese Sternbilder ihrem Gedächtnisse ein und so konnte es jenen ältesten Astromen nicht entgehen, daß es neben diesen Fixsternen noch einige wenige Sterne gab, fünf an der Zahl, die zwischen den anderen weiter wanderten und wie Sonne und Mond von einem Sternbild zum andern zogen. Es waren dies die fünf mit freiem Auge sichtbaren Planeten, Merkur, der stets nur sehr nahe der Sonne zu sehen war, Venus, bekannt als Morgen- und Abendstern, ferner der rötliche Mars, der helle Jupiter und endlich Saturn.

Inzwischen hatte man auch erkannt, wie die wechselnde Stellung der Sonne die Jahreszeiten bedingte, wie der jährliche Kreislauf dieses Gestirnes am Fixsternhimmel Aussaat, Wachstum und Ernte bestimmte, also für das Leben der Menschen die größte Bedeutung hatte. Sollten die anderen Wandelgestirne, der Mond und die Planeten für den Menschen gar keine Bedeutung haben? Warum vollführten sie ihre oft recht verschlungenen Bahnen zwischen den Fixsternen, alle möglichen Konstellationen zeigend, wechselvoll wie Menschenschicksale? Dieser Vergleich war zu naheliegend und zündend wirkte der Gedanke, daß das Schicksal der Menschen in den Sternen zu lesen wäre, und eroberte sich schließlich die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ganze alte Welt. Sonne, Mond und die fünf Planeten, alle die sieben bekannten Wandelgestirne, sollten durch ihre jeweilige Konstellation das Schicksal eines Menschen schon bei der Geburt bestimmen. Alle wichtigen Entscheidungen sollten einen guten Ausgang nur bei einer günstigen Stellung der sieben Wandelgestirne nehmen. Die Sterndeuterei oder Astrologie kam hoch in Blüte und an keinem Fürstenhofe durften Männer fehlen, die sich auf die Deutung der Gestirne verstanden. Mathematiker nannte man sie, denn sie mußten zu rechnen verstehen, da es auch galt, die Örter der Gestirne im vorhinein zu bestimmen. Nichts zeigt wohl deutlicher den mächtigen Einfluß der Astrologie, als daß alle Völker der alten Welt sich schließlich der siebentägigen Planetenwoche bedienten, die bis auf den heutigen Tag erhalten blieb.

Aber den gewaltigsten Schritt vorwärts bedeutete es wohl, als man den sichtbaren Teil des Himmelsgewölbes nach unten hin zu einer Vollkugel ergänzte, in deren Mitte die Erde schwebte. Nun hatte man es auf die natürlichste Art aufgeklärt, wo die Gestirne von ihrem Untergang bis zum nächsten Aufgang verblieben; sie setzten ihre Bahnen auf der unsichtbaren Hälfte der Himmelskugel fort. Wir treffen diese Anschauung bereits bei den ältesten Naturphilosophen der Griechen, die auch sehr bald die Kugelgestalt der Erde behaupteten. Auch für die ganzen verwickelten Bewegungserscheinungen am Himmel hatte die rege griechische Phantasie bald einen Mechanismus ersonnen. Und wie sie ihn gestaltete, daran erkennen wir wieder dasselbe Volk, dessen herrliche Bau-

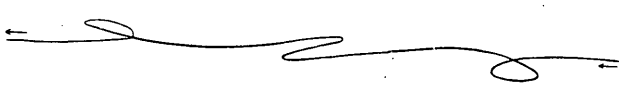
©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

denkmäler noch heute unsere höchste Bewunderung erregen und dessen Skulpturen uns gleichsam das Streben nach Schönheit und Vollkommenheit verkörpern. Der Himmel, so dachten sie, muß wohl das Schönste und Vollkommenste sein. Der schönste und vollkommenste Körper ist eine Kugel. Alle Himmelskörper müssen Kugeln sein. Sonne, Mond und die fünf Planeten sind an sieben ineinandergeschachtelten Hohlkugeln oder Sphären befestigt. Diese Sphären sind aus reinstem Kristall und drehen sich um diamantene Achsen, jede entsprechend der Umlaufszeit des mitgeführten Gestirns. Alle diese umschließt eine achte Sphäre, welche die Fixsterne trägt. So bewegen sich alle Himmelskörper im Kreise herum, welcher die vollkommenste Linie ist und mit gleicher Geschwindigkeit, denn eine ungleichförmige Geschwindigkeit wäre ein Schönheitsfehler. Der Geschwindigkeit jeder einzelnen Sphäre entspricht ein Ton und alle diese Töne stimmen zusammen in wundervoller Harmonie. Freilich die Menschen sind zu unvollkommen, um diese Harmonie der Sphären zu hören, nur die ewigen Götter schwelgen in diesem Genuß.

Damit war der erste Grundstein gelegt zu einer rein wissenschaftlichen Pflege der Astronomie, denn man hatte nun eine Arbeitshypothese, die zu immer genauerer Prüfung anregte. Machte man sich schließlich auch von allem phantastischen Beiwerk frei, an den ursprünglichen kinematischen Voraussetzungen hielten die griechischen Astronomen zähe fest: Es gab für sie nur Kreisbewegungen am Himmel mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Bei zu-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nehmender Beobachtungskunst merkte man, daß Sonne und Mond ihre Bahn doch in verschiedenen Teilen mit verschiedener Geschwindigkeit durcheilen; man erklärte diese Variationen als nur vorgetäuscht durch eine exzentrische Stellung der Erde. Die Bahnen der Planeten zeigten merkwürdige flache Schleifen (Fig. 1); man nahm an, daß statt des Planeten zunächst nur der Mittelpunkt eines kleineren Kreises, des Epizykels, um die Erde kreise, auf dem sich erst der Planet natürlich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt (Fig. 2). Die Ebene des



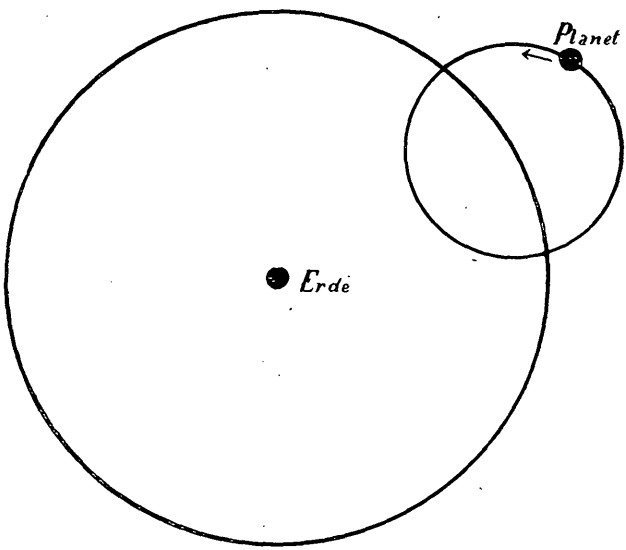
Figur 1

Epizykels nahm man ferner etwas geneigt an und man versteht wohl, wie dadurch eine solche Schleifenbahn sich auf den Fixsternhimmel projiziert. Und gleichzeitig bildeten die Griechen auch das mathematische Rüstzeug immer großartiger aus und beherrschten schon bis zu einem relativ hohen Grade die Erscheinungen am Sternenhimmel rechnerisch.

Das Weltbild der Griechen war und blieb also ein geozentrisches, die Erde ruhte und alle übrigen Gestirne kreisten um sie. Daß die Erde sich dreht und mit den übrigen Planeten um die Sonne kreist, das heliozentrische System, an das wir heute glauben, auch dieses wurde bereits von einzelnen griechischen Astronomen vermutet. Aber es konnte nicht durchdringen und Schuld daran

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

waren die falschen Vorstellungen, welche die Griechen noch über die Mechanik bewegter Körper hatten. Die Körper sind träge, lehrten sie, nur äußere Kräfte können



Figur 2

ihnen Bewegung verleihen und sie bewegen sich nur so lange, als eine Kraft auf sie wirkt. Hört die Kraft auf zu wirken, so suchen sie vermöge ihrer Trägheit möglichst rasch wieder zur Ruhe zu kommen. Eine äußere

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Kraft mußte immer auch die Sphären in Bewegung erhalten. Die Erde aber mit allen Menschen darauf, die konnte sich doch nicht bewegen, davon hätte man ja etwas merken müssen.

Nach dem Zusammenbruche des klassischen Altertums waren es zunächst arabische Astronomen, die durch fleißiges Beobachten das astronomische Weltbild der Griechen ganz im überlieferten Sinne weiter ausbauten. Die jungen Völker des Abendlandes lebten inzwischen noch stumpf jene Zeit dahin, die man als Mittelalter bezeichnet. Aber fast jäh erwachten sie zum Leben, mit wahrem Heißhunger warfen sie sich plötzlich auf allen vom Altertum überlieferten Wissensschatz und tatkräftig machten sie sich ihn aber auch zunutze. Sie lasen mit Staunen in den klassischen Büchern, daß man auch gegen Westen segelnd nach Indien kommen müsse, machten sich auf den Weg und entdeckten Amerika. Auf ähnliche Weise fanden sie auch den Seeweg nach Indien. Und gerade dadurch wiederum hatten für sie genaue astronomische Kenntnisse die größte praktische Bedeutung, mußten sie ja dem Seemann den Weg weisen über die mächtigen Meere zu den neuentdeckten Gestaden. Aber das überlieferte Weltsystem hatte einen Schönheitsfehler bekommen. Mit Häufung von Exzentrizitäten und Epizykeln bekam man zwar immer bessere Sternörter, aber auch einen immer unerklärlich komplizierteren Mechanismus und ganz genau wollte es doch niemals stimmen. So konnte auch wieder die alte Sterndeuterei festen Fuß fassen und erlebte eine neue Blüte, was aber den Astro-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nomen gar viele mächtige Gönner brachte. Aber auch die überlieferten heliozentrischen Ansichten fanden neue Beachtung und Kopernikus war es, der zeigte, daß man damit in das verwickelte Weltsystem eine viel größere Einfachheit bringen könne. Und mit einer damals schon sehr verfeinerten Beobachtungskunst konnte man sich bereits die Aufgabe stellen, die Bahnen der Planeten und ihre Geschwindigkeit empirisch zu bestimmen. Tycho Brahe und Keppler beobachteten daraufhin den Planeten Mars und der Erfolg waren die berühmten Kepplerschen Gesetze. Wie sich zeigte, bewegen die Planeten sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht und nicht mit konstanter Geschwindigkeit, sondern mit variabler, und zwar so, daß die Verbindungslinie Planet Sonne, der sogenannte Radiusvektor, in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt. Die Umlaufzeiten weiterer Planeten nehmen in sehr einfacher gesetzmäßiger Weise mit der mittleren Entfernung zu.

Was aber dem heliozentrischen Weltsysteme die schließliche Geltung verschaffte, das war ein gewaltiger Umschwung, der sich in den mechanischen Anschauungen gleichzeitig vollzog. Wir bezeichnen diese neue große Erkenntnis von damals heute als das Relativitätsprinzip der Mechanik. Man war zur Überzeugung gekommen, daß die Erde sich mit noch so großer Geschwindigkeit bewegen konnte, ohne daß diese Bewegung mechanisch sich bemerkbar macht, sie mußte nur gleichförmig sein. Und ein Körper, erkannte man weiter, auf den keine Kräfte wirken, der behält seine Bewegung geradlinig und gleichförmig

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bei. Die Trägheit ist vielmehr der Widerstand des Körpers gegen jede Änderung der Geschwindigkeit, sei es an Größe oder sei es an Richtung. Diese neue Anschauung mit der dazugehörigen Mechanik nimmt ihren Anfang bei Gallilei und findet ihre Krönung durch Newton. Die Kräfte bewirken Änderungen der Geschwindigkeit und der Bewegungsrichtung. Bei uns auf der Erde freilich treten immer hemmende Reibungs- oder Luftwiderstandskräfte auf, welche jede Bewegung nach längerer oder kürzerer Zeit zum Stillstand bringen. Aber draußen im leeren Weltraum fehlen sie, die Himmelskörper behalten in Ewigkeit ihre Bewegung bei. Daß sich die Planeten aber nicht geradlinig fortbewegen, sondern in krummer Bahn um die Sonne kreisen, das ist die Wirkung einer anziehenden Kraft, welche von der Sonne ausgeht. Aber umgekehrt wirken auch die Planeten mit derselben Kraft auf die Sonne, doch deren Masse ist so überwältigend groß, daß sie auf sie keine besondere Wirkung ausüben können. Dieselbe Anziehung ist es auch, welche den Stein zur Erde fallen läßt, die Anziehung ist eine allgemeine Eigenschaft aller Massen, Gravitation genannt. Irgend zwei Massen üben durch den leeren Raum hindurch eine anziehende Kraft aufeinander aus. So wurde der leere Raum auch Träger von Kräften. Newton selbst glaubte noch, diese neuartige Vorstellung als Arbeitshypothese entschuldigen zu müssen, aber seine Schüler hatten sich bereits vollkommen an den Gedanken gewöhnt, warum sollte der leere Raum nicht auch Träger von Kräften sein können.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Und der Erfolg dieser neuen physikalischen Vorstellungen war ein glänzender. Die weitere Entwicklung der Astronomie war eine Kette von immer neueren Triumphen der Newtonschen Mechanik. Sie gab von den feinsten Vorgängen am Himmel Rechenschaft und das Vertrauen in sie wurde darum auch bald ein gewaltiges. Mit der Newtonschen Mechanik hoffte man schließlich überhaupt alles physikalische Geschehen zu begreifen. Sie wurde die Grundlage der ganzen Physik, ja es kam eine Zeit, wo man selbst die höchsten Erscheinungsformen, die des Lebens, auf die Mechanik zurückzuführen hoffte.

Von den physikalischen Vorgängen war es vor allem die Ausbreitung des Lichtes, welche Newton gleichfalls auf Grund von mechanischen Vorstellungen erklärte. Die Lichtstrahlen sind geradlinig und nichts war naheliegender, als dabei an den geradlinigen Weg rasch bewegter Massen zu denken. Man stellte sich vor, daß leuchtende Körper äußerst kleine Körperchen, Korpuskeln genannt, mit außerordentlich großer Geschwindigkeit emittieren und hatte mit dieser Emissionstheorie des Lichtes eine Arbeitshypothese geschaffen, die von den wichtigsten optischen Erscheinungen in einfachster Weise Rechenschaft gab und für lange Zeit das höchste Ansehen genoß.

Doch mit der Zeit häuften sich die Entdeckungen immer mehr, welche für eine Wellentheorie des Lichtes sprachen, es sind dies die sogenannten Interferenzerscheinungen. Ja, man wurde schließlich mit Erscheinungen bekannt, welche der Emissionstheorie des Lichtes

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

vollkommen widersprachen. Wie der ins Wasser fallende Stein auf der Wasseroberfläche Wellen erregt, die mit konstanter Geschwindigkeit in Kreisen sich fortpflanzen, so müssen von einem leuchtenden Körper Lichtwellen nach allen Richtungen ausgehen in immer größer werdendenden Kugeln. Wie ein tönender Körper in der Luft Verdichtungen und Verdünnungen in periodischer Folge erregt, die in Kugelwellen sich ausbreiten und ans Ohr gelangend als Ton wahrgenommen werden, so muß auch ein leuchtender Körper periodische Wellen erregen, die das Auge als Licht wahrnimmt. Sogar von den fernen Fixsternen kommen die Lichtwellen an unser Auge, nachdem sie weite Räume durcheilt haben, in denen längst keine Spur von Luft oder von einem anderen Gas mehr vorhanden sein kann. Der Weltenraum kann somit nicht leer sein; ein Medium muß ihn erfüllen, das die Lichtschwingungen fortpflanzt, und diesen hypothetischen Stoff nannte man Lichtäther. Dieser Lichtäther setzt den Bewegungen der Himmelskörper aber keinen Widerstand entgegen, denn die Umläufe der Planeten um die Sonne zeigten seit den frühesten genaueren griechischen Beobachtungen keine Veränderung. Und es war auch optisch nicht das geringste zu merken, daß die bewegte Erde irgend welche Strömungen im Lichtäther hervorgerufen hätte. Je genauer man die optischen Erscheinungen studierte, desto mehr wurde man schließlich zu der Ansicht gedrängt, daß der Äther in Starrheit ruhen müsse. Der Weltäther, so hieß es schließlich, erfüllt kontinuierlich überall den Raum, er durchdringt infolge seiner aller-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

feinsten Struktur jeden Körper. Seine kleinsten Teilchen sind winzig gegen die Moleküle, aus denen die übrigen Substanzen bestehen, und wie ein grobmaschiges Sieb den feinkörnigen Sand einfach durchläßt, so können auch die Himmelskörper den feinen Weltäther bei ihrer Bewegung nicht mit sich reißen.

Astronomische Beobachtungen waren es zuerst, welche die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen ließen. Ist die Zeit auch außerordentlich klein, die das Licht braucht, um irdische Strecken zu durchlaufen, könnte man doch mit der Geschwindigkeit des Lichtes in vier Zehntelsekunden dreimal die Reise um die Erde machen, so braucht das Licht doch schon von der Sonne zu den Planeten etliche Minuten, zu den entferntesten sogar schon Stunden. Und dies mußte sich bei der Exaktheit, die astronomische Berechnungen durch die Newtonsche Mechanik erhielten, bald bemerkbar machen. Daß aber die Fixsterne noch ganz außerordentlich viel weiter sind als alle Planeten, das mußte man schon lange vermuten. Wie schon erwähnt, zeigen die Bahnen der Planeten am Fixsternhimmel eigentümliche Schleifen, die man seit Kopernikus als das Spiegelbild des jährlichen Laufes der Erde um die Sonne betrachten kann, wie sie von dem betreffenden Planeten aus gesehen würde. Und die Länge dieser Schleifen läßt direkt die Entfernung des Planeten von der Sonne berechnen, denn je kleiner diese Schleifen, desto größer die Distanz von der Sonne. Aber erst mit den allerfeinsten Messungsmethoden der moderneren Zeit hat man bloß bei einigen Fixsternen gleichfalls solche

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Schleifen beobachten können und man erhält für diese jedenfalls nächsten Fixsterne bereits Entfernungen, zu deren Durchlaufen das Licht Jahre braucht. Während darum auch der Anblick im Fernrohr die Planeten als Scheiben erkennen läßt, behalten die Fixsterne selbst in den stärksten Instrumenten ihr punktförmiges Aussehen. Und wie man schon längst vermutete und auch die Untersuchung des Sternenlichtes mit der neueren Spektralanalyse glänzend bestätigt hat, sind die Fixsterne nichts anderes als gleichfalls mächtige Sonnen, größer und glänzender in der Regel als unser eigenes leuchtendes Tagesgestirn. Nur ihre riesigen Entfernungen sind es, die sie uns so winzig klein erscheinen lassen und ihre Bewegungen fast verschwindend. Wenn wir es gleich nicht sehen können, so sind wir doch alle überzeugt, daß auch um diese mächtigen Sonnen wie um die unsrige Planeten kreisen werden, von denen wohl manche intelligente Wesen beherbergen. Sollten wir wohl jemals Einblick erhalten in das Leben einer fremden Fixsternwelt? Unsere heutigen optischen Instrumente sind gewiß weit entfernt davon. Selbst auf den uns so nahen Planeten lassen sie nur spärliche Details erkennen. Berühmt sind die sogenannten Kanäle auf unserem Nachbarplaneten Mars, die durch ihre geometrische Konfiguration den Anschein erwecken, als hätten sie intelligente Wesen angelegt. Doch der Marsbewohner ist immerhin noch ein reines Gebilde unserer Phantasie und einen sicheren Beweis seiner Existenz hat uns noch kein Fernrohr geliefert. Um wie viel hoffnungsloser muß es uns bei dem heutigen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Stande unserer Mittel erscheinen, daß wir jemals das Leben und Treiben auf einem fernen Fixsternplaneten beobachten können. Oder sollte es dort bei jenen fernen Sternen Wesen geben auf einer solchen Höhe der Kultur, daß sie können, was uns heute noch unmöglich erscheint, daß sie vielleicht unser Leben und Treiben hier auf der kleinen Erde schon längst beobachten und auf den Augenblick warten, bis auch wir so weit sind. Denn könnten auch wir sie mit Instrumenten, von denen wir allerdings keine Ahnung haben, gleichfalls wahrnehmen, dann könnten wir auch mit der fremden Welt in Gedankenaustausch treten. Das Licht wäre der Bote, der die Verständigung durch den weiten Äther trüge.

Es läßt sich gar nicht ausdenken, wie ein solcher Verkehr mit einer fremden Fixsternwelt unseren Gesichtskreis wohl erweitern würde. Aber schleppend wäre diese telegraphische Verständigung auf jeden Fall, wenn man sich vorstellt, daß jetzt abgegebene telegraphische Zeichen auf jenem fremden Himmelskörper vielleicht etwa in zehn Jahren erst ankommen und die Antwort frühestens in zwanzig Jahren zurück sein kann. Denn alles, was wir mit unseren Wunderinstrumenten an Vorgängen in jener fremden Welt wahrnehmen würden, das läge zehn Jahre zurück und genau so ginge es jenen fernen Wesen, sie würden nur sehen, was sich bei uns vor zehn Jahren abgespielt hat. Und wenn jetzt eine gewaltige Katastrophe die ganze eine Welt zugrunderichtet, die andere hat noch lange keine Kunde davon und doch ist der Lichtstrahl der schnellste Bote, den wir kennen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Aber die Entfernung von jener fremden Welt, die mit uns in telegraphischen Zeichenwechsel tritt, die würden wir dann nicht mehr so ungenau wie jetzt bloß in Lichtjahren anzugeben brauchen, auf Tage, Minuten, ja wahrscheinlich Sekunden genau ließe sich dann mit Leichtigkeit die Zeit bestimmen, die das Licht zum Durcheilen des Zwischenraumes braucht. Wir geben ein Zeichen, die andere Welt gibt es sofort bei seiner Ankunft an uns wieder zurück, und die Hälfte der Zeit, die das Zeichen ausblieb, ist die Entfernung jener anderen Welt und zwar, wie es sich für Fixsternentfernungen eingebürgert hat, in Lichtzeit ausgedrückt. Und wenn wir mit unseren großartigen Instrumenten eine Uhr mit Kalender in der fremden Welt abzulesen vermögen, so wissen wir, daß diese Uhr mit dem Kalender im selben Augenblick bereits um jene gleiche Lichtzeit weitergerückt ist. Wir könnten so auch bei uns eine Uhr mit Kalender aufstellen, die genau gleichzeitig geht mit den Uhren auf der fernen Fixsternwelt, und gleichzeitige Beobachtungen mit den Bewohnern der anderen Welt würden unserem astronomischen Wissen vom Fixsternsystem eine unschätzbare Fundgrube neuer wertvoller Tatsachen liefern. Doch wenn schon, warum sollten wir dann bloß mit Bewohnern eines einzigen Fixsternsystems in Verbindung treten? Wenn es diesen und uns gelingen sollte, derart großartige Mittel zu erfinden, dann wird dasselbe gewiß auch noch Bewohnern vieler anderer Fixsternsysteme gelingen, ein vielverzweigter Weltenverkehr mag sich ausbilden. Die gegenseitigen Entfernungen zwischen

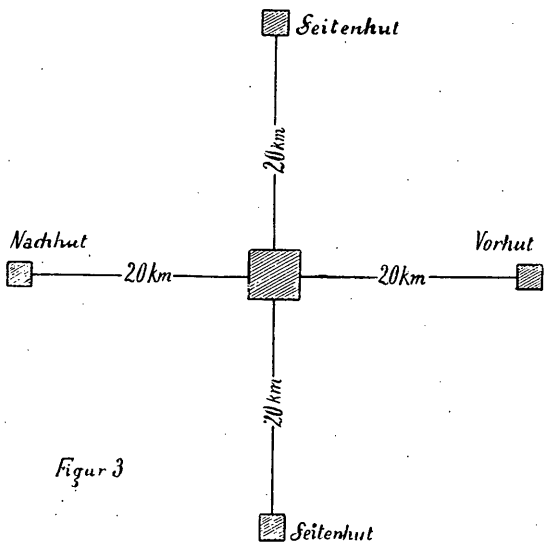
©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

allen diesen Fixsternen wären dann genau bekannt und man einigt sich dann wohl wenigstens für den Verkehr untereinander auf eine gemeinsame Weltenzeit. Eine Weltenhauptuhr ist auf einer der Fixsternwelten aufgestellt und alle übrigen Fixsternwelten richten ihre Weltenuhren nach dieser Hauptuhr unter Berücksichtigung der Lichtzeit, so wäre die Ordnung in diesem Weltenverkehr geregelt. Aber wir haben bei diesen Betrachtungen eine stillschweigende Voraussetzung gemacht, die nicht unbedenklich ist. Bekanntlich pflanzt sich das Licht in dem ruhenden Weltäther fort, gegen den sich die Himmelskörper ungehindert bewegen können, und von dieser Geschwindigkeit haben wir ganz abgesehen. Nun wissen wir freilich, daß die Geschwindigkeit unserer Sonne relativ zu den übrigen Fixsternen recht klein ist im Vergleiche zur Geschwindigkeit des Lichtes. Doch weiß man, ob sich nicht das gesamte Fixsternsystem mit riesiger Geschwindigkeit durch den Äther bewegt? Jenen Sternen, die in der Richtung der Bewegung liegen, denen müßte das Licht dann nacheilen und erreichte sie später, während es die zurückliegenden Sterne rascher erreicht. Die ganze Methode des Gleichrichtens der Uhren ist dadurch in Frage gestellt und ebenso die Messung der gegenseitigen Entfernungen durch Lichtsignale.

Um diese ganzen Verhältnisse besser überblicken zu können, wollen wir lieber einen ganz entsprechenden Fall auf unserer Erde heranziehen. Wir denken uns eine militärische Expedition in einem weiten ebenen Gebiete, wo es keinen Sinn hat, sich an bestimmte Wege zu halten,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

weil Straßen ohnehin nicht vorhanden sind. Der Kommandant hat die Absicht, in einer bestimmten Richtung einfach geradeaus vorzudringen. Er selbst befindet sich mit der Hauptmacht im Zentrum und 20 km vorge-

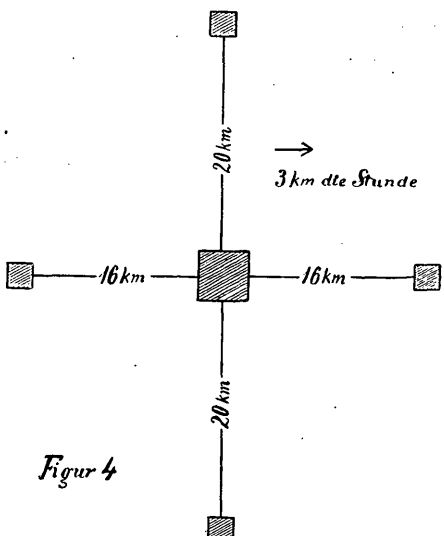


Figur 3

schoben ist eine Vorhut, 20 km hinter ihm befindet sich die Nachhut, auch 20 km rechts und links sind Seitenkolonnen aufgestellt und noch lagert alles (Fig. 3). Befehle und Meldungen übermitteln Boten, welche in der Stunde 5 km zurücklegen. So brauchen die Boten zu jeder der Nebenkolonnen hin und zurück acht Stunden, und da sie immer auch die Zeit ihres Abganges vom

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Zentrum melden, so können die Nebenkolonnen ihre Uhren danach richten, indem sie noch vier Stunden Botenzeit dazu rechnen. Anders wird die Sache, wenn sich die ganze Heeresmasse in Bewegung setzt, die langsam, aber

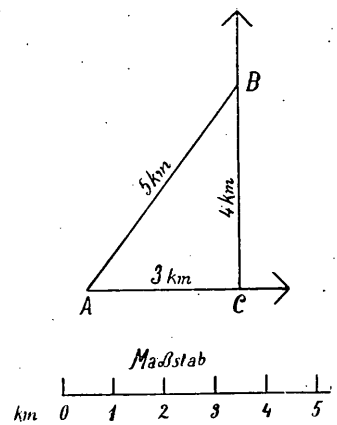


Figur 4

stetig mit einer Geschwindigkeit von 3 km in der Stunde weiterzieht. Die beiden Seitenkolonnen rücken in ihrer ursprünglichen Distanz von 20 km in einer Linie mit dem Zentrum vor. Vorhut und Nachhut muß der Oberkommandant dagegen auf eine Entfernung von bloß 16 km heranziehen, damit seine Boten dorthin nicht länger aus-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bleiben als nach den Seitenkolonnen. (Fig. 4.) In dieser Marschordnung jetzt brauchen die Boten zu jeder der Nebenkolonnen hin und zurück 10 Stunden. Denn der nach der Seitenhut, die sich selbst weiterbewegt, vom Zentrum abgehende Bote hat nun einen längeren Weg



Figur 5

zurückzulegen, da er eine schiefe Richtung einschlagen muß, um immer in der Verbindungslinie Zentrum-Seitenhut zu bleiben. In einer Stunde ist der Bote 5 km von seinem Ausgangspunkte A entfernt (Fig. 5), das Zentrum ist aber gleichfalls unterdessen um 3 km bis C weitergerückt, während der Bote sich in B befindet. Er entfernt sich also bloß, wie die Zeichnung erkennen läßt, vom Zentrum 4 km in der Stunde und erreicht die 20 km

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

seitlich marschierende Seitenhut somit erst in 5 Stunden. Ebensolange braucht er wieder zurück und bleibt mithin zur Seitenhut 10 Stunden im ganzen aus. Ein vom Zentrum zur 16 km voranmarschierenden Vorhut abgesendeter Bote nähert sich dieser bloß 5 km — 3 km = 2 km in der Stunde und holt sie mithin erst in 8 Stunden ein. Aber zurück nähert er sich dem ihm entgegen marschierenden Zentrum 5 km + 3 km = 8 km in der Stunde und erreicht es mithin in 2 Stunden, so daß auch er im ganzen 10 Stunden ausbleibt. Und genau dieselbe Zeit bleibt auch der Bote nach der Nachhut aus. Wenn man nun gerade so wie früher während des Lagerns in den Nebenkolonnen weiter die Uhren nach dem Zentrum richtet, nur unter Zugabe von jetzt 5 Stunden Botenzeit, so gehen die Uhren in den Seitenkolonnen auch weiterhin richtig. Doch die Uhr der Vorhut geht um 3 Stunden nach, die Uhr der Nachhut um 3 Stunden vor. Wenn ein Bote vom Zentrum um 12 Uhr mittags abgeht, so zeigt bei seinem Eintreffen bei der Vorhut die so verstellte Uhr 5 Uhr und um 10 Uhr trifft der Bote wieder beim Zentrum ein. Es ist so der Anschein erweckt, als brauche der Bote hin dieselbe Zeit wie zurück. So funktioniert auf dem Marsche, von der etwas längeren Botenzeit abgesehen, dann alles genau so wie vorher während der Ruhe. Die Untergebenen des Kommandanten könnten so vielleicht die Meinung haben, es verhalte sich wirklich alles so wie während der Ruhe und halten den so geregelten Stand der Uhren für richtig und schließen aus der gleichen Botenzeit, daß wirklich alle Nebenkolonnen die gleiche

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Entfernung vom Zentrum haben. Das allermerkwürdigste ist aber, daß wenn die Nebenkolonnen auch untereinander durch die Boten in Verkehr treten, zum Beispiel die Vorhut mit einer Seitenhut, sie auf die gleiche fehlerhafte Weise trotzdem ihre Uhren in Übereinstimmung fänden und für ihre gegenseitige Entfernung, nach der Botenzeit beurteilt, einen Wert bekämen, wie sie ihn geometrisch auch erwarten würden. Das fehlerhafte Verfahren würde sie auf keine Widersprüche führen, solange sie nicht mit dem Meßband ihre Entfernungen nachmessen oder durch raschere Mittel, als ihre Boten es sind, ihre Uhren vergleichen. Und gerade in dieser Lage befinden sich die Bewohner der Fixsternwelten, die aus der Lichtzeit ihre gegenseitige Entfernung bestimmen und ihre Weltenuhren damit richten, ohne auf die Bewegung der Systeme im Äther Rücksicht zu nehmen. Geometrisch würden alle Entfernungen untereinander stimmen und es würden alle Uhren untereinander Übereinstimmung zeigen und doch trägt gleichsam der Lichtungsmaßstab in der Bewegungsrichtung zu kleine Marken auf und die Uhren gehen in Wirklichkeit in der Bewegungsrichtung vor und nach. Und raschere Signale als Lichtsignale scheint es nicht zu geben und Meßschnüre von einem Fixstern zum andern lassen sich nicht ziehen, könnte man dies aber, so würde die Differenz zwischen den Angaben des materiellen Maßstabes und des Lichtmaßstabes die Geschwindigkeit der ganzen Fixsternwelt im Äther berechnen lassen und man wüßte dann auch, wie man die Uhren zu stellen hat, damit sie wirklich gleichzeitig gehen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Aber im Prinzip muß sich auf diese Weise die Geschwindigkeit gegen den Weltäther auch durch einen irdischen Versuch feststellen lassen. Und es zeigt von der außerordentlichen Feinheit, deren unsere optischen Messungen fähig sind, daß es tatsächlich gelang, einen solchen Apparat herzustellen, mit dem man diese Differenz zwischen Lichtmaßstab und materiellem Maßstab müßte messen können, selbst wenn die Geschwindigkeit der Erde um die Sonne und die Geschwindigkeit unseres Sonnensystems gegen die Fixsternwelt die ganze wahre Geschwindigkeit gegen den Weltäther wäre. In Amerika baute man diesen Apparat und führte die nunmehr als Michelsonscher Versuch berühmt gewordenen Messungen durch. Der Apparat besteht im Prinzip aus zwei rechtwinkelig zueinander stehenden gleich langen Armen, mit Spiegeln am Ende versehen, die einen in der Richtung des Armes kommenden Lichtstrahl in sich wieder zurückreflektieren. Aus dem Zentrum des Apparates wird je ein Lichtstrahl längs jedes Armes entlang geschickt und vom Spiegel wieder ins Zentrum zurückreflektiert. Der Lichtstrahl in der Bewegungsrichtung müßte länger ausbleiben als der Lichtstrahl senkrecht dazu, denn sollten sie gleich lange ausbleiben, müßte man ja den Arm in der Bewegungsrichtung verkürzen, wie das Beispiel der militärischen Expedition gezeigt hat. Die mit mehr als genügender Feinheit ausgeführten Versuche hatten aber das Ergebnis, daß kein solcher Einfluß der Bewegung zu bemerken ist. So drang allmählich die Überzeugung durch, daß ein materieller Maßstab, in die Bewegungs-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

richtung gestellt, sich genau so verkürzt wie gleichsam der Lichtmaßstab dies tut. Alle Körper verkürzen sich gleichviel in der Bewegungsrichtung, der Meterstab ebenso wie der zu messende Körper und darum kann diese Verkürzung durch Längenmessung nicht wahrgenommen werden. Aber auch die Bewohner jener korrespondierenden Fixsternwelten, von denen wir früher sprachen, würden durch Meßschnüre keine anderen Entfernungen zwischen den Himmelskörpern herausbekommen als durch ihre Lichtzeiten, mit welcher Geschwindigkeit immer die gesamten Fixsterne sich durch den Äther bewegen.

Daß sich aber jene kühne Annahme von den Kontraktion aller Körper in der Bewegungsrichtung behaupten konnte, das ist auf eine vor sich gegangene gewaltige Änderung unserer Anschauungen auf einem ganz anderen Gebiete der Physik zurückzuführen, nämlich auf dem Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus. Es ist dieselbe bedeutsame Erkenntnis, der wir es auch in letzter Linie verdanken, wenn heute draußen auf hoher See die Schiffe untereinander und mit großen Landstationen auf weite Entfernungen hin durch elektromagnetische Wellen verkehren können, um nur eine von den vielen Wohltaten der sogenannten drahtlosen Telegraphie herauszugreifen. Bekanntlich übt ein elektrisch geladener Körper auf andere Körper in der Entfernung elektrische Kräfte aus, und ein elektrischer Strom übt auf einen Magnetpol in der Entfernung eine magnetische Kraft aus. Aber wir wissen seit Faraday und Maxwell, daß

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

elektrische und magnetische Kräfte nicht sofort bei Entstehung der Ladung oder des elektrischen Stromes in der Entfernung auftreten, sondern daß sie sich erst allmählich durch den Äther fortpflanzen. Zum Zwecke der drahtlosen Telegraphie werden elektrische Schwingungen in hohen metallenen Ständern, den sogenannten Antennen, erregt. Fortwährend fließen Ströme oszillatorisch hinein und hinaus, die Antenne ladet sich immer wechselnd positiv und negativ, es treten also elektrische und magnetische Kräfte gleichfalls oszillierender Stärke auf, aber zunächst nur unmittelbar an der Antenne. Doch der Äther pflanzt diese pulsierenden Kräfte fort und so entstehen die elektromagnetischen Wellen, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Denn das Licht ist selbst nichts anderes als eben solche elektromagnetische Wellen, wie sie zur drahtlosen Telegraphie verwendet werden, und unterscheidet sich bloß durch die Länge der Wellen; denn während die Wellenlänge in der drahtlosen Telegraphie Kilometer beträgt, haben die Lichtwellen nur eine Länge von zehntausendstel Millimeter. Sind ja auch die Sendestationen für die elektromagnetischen Lichtwellen recht winzig, denn sie sind nichts anderes als die Moleküle oder Atome der leuchtenden Körper. Ja, so ein Atom, das wissen wir heute schon recht genau, ist bereits ein hochkomplizierter Mechanismus. Elektrische Kräfte herrschen in seinem Innern, gegen welche wir die stärksten Felder, die je in einem Laboratorium erzeugt worden sind, als unbedeutend bezeichnen müssen. Und zwar scheint die positive Elektrizität fest an der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Materie zu haften, während die negative Elektrizität freie Beweglichkeit im Atominnern besitzt und aus lauter diskreten gleichgroßen, sozusagen, Atomen besteht. Elektronen nennt man diese Atome negativer Elektrizität. Sie können sich lostrennen vom Atom und mithin für sich untersucht werden. So treten uns solche freie Elektronen zum Beispiel als Kathodenstrahlen in den Röntgenröhren entgegen oder als Betastrahlen bei radioaktiven Substanzen. Wie ein elektrischer Strom beim Einschalten, wie man sagt, durch Selbstinduktion erst allmählich seine volle Stärke annimmt und aus demselben Grunde beim Ausschalten nur allmählich verschwindet, so setzt auch ein Elektron, das bewegt ebenso wirkt wie ein elektrischer Strom, seiner Beschleunigung oder Verzögerung rein elektromagnetisch Widerstand entgegen, als ob es mechanische Masse hätte. Darum spricht man hier von einer elektromagnetischen Masse und diese ist zirka der zweitausendste Teil der Masse eines Wasserstoffatoms. Die Schwingungen der Elektronen im Atominnern rufen die Lichtwellen hervor.

Zwischen den einzelnen Molekülen der festen Körper müssen nun offenbar Kräfte wirken, welche sie zwingen, in ganz bestimmten Abständen zu verbleiben. A. H. Lorenz hat nun bewiesen, daß, wenn auch diese Kräfte, welche sich zwischen den Molekülen das Gleichgewicht halten, elektromagnetische Kräfte sind, die Körper bei der Bewegung durch den Äther notwendigerweise jene Kontraktion zeigen müssen, welche aus dem Michelsonschen Versuche gefolgert wird. Ja, es genügt anzu-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nehmen, daß jene Kräfte, welche das Gefüge eines festen Körpers zusammenhalten, gleichfalls solche sind, welche durch den Äther mit Lichtgeschwindigkeit sich fortpflanzen, um jene Kontraktion zu erklären. Denn wie in dem Beispiele der militärischen Expedition die alte Ordnung durch Näherheranziehen von Vorhut und Nachhut hergestellt werden mußte, so wird auch bei diesen sich fortpflanzenden Kräften das Gleichgewicht bloß durch entsprechende Kontraktion wieder erreicht. Also auch bewegte Maßstäbe gestatten somit nicht, die wahren Entfernungen zu messen, man bekommt mit ihnen dieselben falschen Werte wie bei Verwendung von Lichtzeiten. Wie soll man nun die wahren Entfernungen feststellen und die wahre Gleichzeitigkeit? Man muß eine andere Methode ersinnen, die Geschwindigkeit gegen den Weltäther zu bestimmen.

Aber alle Versuche, diese Geschwindigkeit gegen den Äther zu bestimmen, sind bisher fehlgeschlagen. Denn schon in den Anfangsstadien der Wellentheorie des Lichtes mußte man einige vermutete gröbere Einflüsse als nicht vorhanden erkennen. Vielleicht wird es uns mit allen späteren Versuchen ebenso gehen? Aber wenn sich auch das ganze System der Fixsterne mit sehr großer Geschwindigkeit durch den Äther bewegen sollte, so stimmen die Entfernungen, welche man gleich gut durch Lichtsignale als durch Meßschnüre bestimmt, geometrisch vollkommen überein. Man kann sich gleichsam vorstellen, daß das Licht nach allen Richtungen sich gleich rasch fortpflanzt, und bekommt doch gut zusam-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

menstimmende Uhrstände. Man bekommt zwar unrichtige Längen und unrichtige Zeiten, aber diese unrichtigen Längen und unrichtigen Zeiten haben die gleichen Eigenschaften wie richtige Längen und richtige Zeiten. Und in bezug auf sie pflanzt sich das Licht gleich schnell nach allen Richtungen fort wie im ruhenden Äther. Vielleicht vollziehen sich alle physikalischen Vorgänge in bezug auf sie genau so wie im ruhenden Äther? Wäre das aber der Fall, so würde man niemals ein Experiment zustande bringen, aus dem sich die Geschwindigkeit gegen den Äther bestimmen ließe. Das wäre eine neue Merkwürdigkeit jenes Äthers, der schon immer ein sonderbares Verhalten zeigte. Er mußte einerseits als recht starr angenommen werden, andererseits leistet er den Bewegungen der Körper keinen Widerstand, sondern durchdringt alles. Und nun käme als eine neue Eigenschaft hinzu, daß man nicht konstatieren kann, ob man sich gegen ihn bewegt oder nicht. Da muß man mit Recht die Frage aufwerfen, ob der Äther überhaupt Materie ist. Als man das Licht noch als mechanische Schwingungen sich dachte, da brauchte man in der Tat einen materiellen Äther. Doch heute weiß man, daß man es beim Licht mit oszillierenden elektromagnetischen Kräften zu tun hat, und Träger von Kräften kann auch der leere Raum sein, so hat man ja schon einmal gedacht. Man hat sich jetzt nur vorzustellen, daß der leere Raum die Kräfte nicht spontan übermittelt, sondern sie mit konstanter Geschwindigkeit weiterleitet. Diese neuerkannte physikalische Eigenschaft des leeren Raumes

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schreibt man dann nur fälschlich einem den Raum erfüllenden Äther zu,. Äther und leerer Raum wären ein und dasselbe. Im leeren Raum kann man aber vom Fixsternsystem mit demselben Rechte sagen, es ruht, als es bewegt sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit, denn der leere Raum ist unendlich und hat keine Mitte und keine Grenzen, kurz es ist nichts da, woran man Ortsveränderung oder Ruhe konstatieren kann. Dann sind aber jene Längen und Uhrstände des bewegten Fixsternsystems gar nicht unrichtig, sondern sind eben die Raummasse und Uhrstände des bewegten Fixsternsystems und diese sind eben verschieden von den Raummassen und Uhrständen eines ruhenden Systems. Der Raum an und für sich hat keine bestimmten Maße und keine bestimmte Gleichzeitigkeit, sondern Raummaß und Gleichzeitigkeit sind relative Größen, für jedes mit anderer Geschwindigkeit bewegtes System fallen sie anders aus. Aber sie sind alle untereinander vollkommen gleichberechtigt, denn in bezug auf jedes System gilt dieselbe Geometrie, in bezug auf jedes breitet sich das Licht nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit aus, und es gelten überhaupt dieselben Naturgesetze. Von einer Geschwindigkeit an sich zu sprechen im leeren Raum hat keinen Sinn, denn es gibt keine absolute Geschwindigkeit oder absolute Ruhe. Wir können nur von der Geschwindigkeit eines Systems gegen ein anderes sprechen, es gibt nur relative Geschwindigkeit und relative Ruhe. Die Summe dieser Anschauungen ist das Relativitätsprinzip, von Einstein begründet und durch Minkowski zur höchsten

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

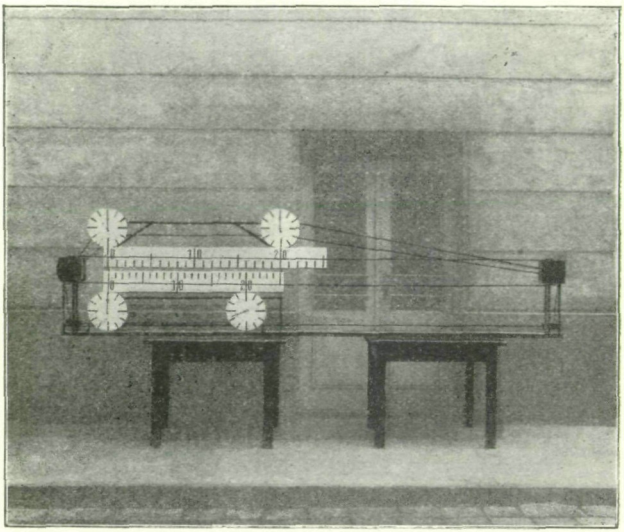
Vollkommenheit ausgebaut. Darnach spielt sich in einem gegen uns mit konstanter Geschwindigkeit bewegten System alles physikalische Geschehen ganz gleichartig ab, nur ist die Raummessung und Zeitmessung in dem bewegten System eine andere.

In unserem Beispiel der militärischen Expedition blieb der Bote nach den Nebenkolonnen während des Marsches 10 Stunden aus, während er früher während des Lagerns nur 8 Stunden brauchte. Würde man auf dem Marsche auch den Gang aller Uhren so verändern, daß in 10 Stunden der Zeiger bloß um 8 Stunden weiterrückt, so bliebe der Bote auch auf dem Marsche scheinbar nur 8 Stunden aus. Dann wäre auf dem Marsche vollends alles so wie vorher während der Ruhe. Das Relativitätsprinzip erfordert nun, daß in einem bewegten System alle Uhren von selbst ihren Gang derart verlangsamen, daß die Geschwindigkeit des Lichtes, das ist ja der Bote im leeren Raum, dieselbe bleibt. So und nur so, zeigt Einstein, erhält man in Verbindung mit der schon früher besprochenen Raummessung und Uhrenvergleichung die vollkommen gleichberechtigten Raum- und Zeitmaße des bewegten Systems. Denn in zwei gegeneinander mit konstanter Relativgeschwindigkeit bewegten Systemen können in jedem mit gleichem Recht die Bewohner ihr System als das ruhende betrachten und das andere als das bewegte und jedes hat von dem anderen die gleichen Eindrücke. Von diesen merkwürdigen Verhältnissen soll das Modell ein Bild entwerfen. (Der Apparat wurde zuerst von Professor Cohn in Straßburg

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

konstruiert[1]), von mir nur in etwas veränderter Weise ausgeführt, wie ihn die Abbildung zeigt.)

Man sieht an dem Modell oben ein ruhendes System, bestehend aus einem Maßstab und zwei Uhren und darunter



auf einem Wagen ein bewegtes System, ganz ebenso ausgestattet. Die Maßstäbe sollen die verkleinerte Wiedergabe von Maßstäben riesenhafter Dimension draußen im Weltraum darstellen, zu deren Durcheilen das Licht Stunden braucht. Die Schnur vor den Maßstäben soll sich

[1]) Physikalisches über Raum und Zeit von Emil Cohn, Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1911.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

mit der Geschwindigkeit des Lichtes bewegen und darauf befestigte Marken stellen somit Lichtsignale dar. Man sieht, daß während ein Lichtsignal um fünf Teilstriche des fixen Maßstabes weitereilt, eine Marke des Wagens bloß um drei Teilstriche sich fortbewegt. Das untere System bewegt sich also mit dreifünftel Lichtgeschwindigkeit und das Verhältnis der Geschwindigkeit des Wagens zur Geschwindigkeit des Lichtsignales ist dasselbe, wie bei unserem Beispiele der militärischen Expedition das Verhältnis der Geschwindigkeit der ganzen Heeresmasse zur Geschwindigkeit der Boten. Darum ist auch der Maßstab des unteren Systems, der ja in der Bewegungsrichtung steht, entsprechend verkürzt, es decken sich, wie man sieht, zwanzig Teilstriche des unteren Maßstabes mit nur sechzehn Teilstrichen des oberen Maßstabes oder auf vier Teilstriche des oberen Maßstabes fallen fünf Teilstriche des unteren Maßstabes, kurz der untere Maßstab ist vierfünftel verkürzt. Desgleichen gehen auch die Uhren des bewegten Systems langsamer, denn während der Zeiger einer oberen Uhr um 10 Stunden vorrückt, geht der Zeiger einer unteren Uhr bloß um acht Stunden weiter oder, während der Zeiger einer oberen Uhr um fünf Stunden vorrückt, geht ein Zeiger einer unteren Uhr bloß vier Stunden weiter, kurz der Gang der unteren Uhren ist vierfünftel verlangsamt. Man übersieht ferner mit einem Blick, daß die beiden oberen Uhren synchron sind. Aber auf den riesenhaften Maßstäben draußen im Weltenraum, deren verkleinerte Wiedergabe das Modell darstellt und längs denen das Licht sich so

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

langsam fortbewegt, können die Bewohner nicht mit einem raschen Blick die beiden Uhren übersehen, sondern können ihre Uhren nur so miteinander vergleichen, daß ein Beobachter bei der einen Uhr mit einem zweiten Beobachter bei der anderen Uhr Lichtsignale wechselt. Der erste Beobachter bei der linken oberen Uhr gibt um 12 Uhr mittags ein Lichtsignal ab, dieses kommt um 6 Uhr bei dem zweiten Beobachter an, der im selben Augenblicke ein Lichtsignal zurücksendet. (Die hingegesendete Marke wird an der oberen Signalschnur befestigt, die zurückgesendete an der unteren Signalschnur.) Dieses kommt um 12 Uhr mitternacht bei dem ersten Beobachter wieder an. Die Bewohner des oberen Systems werden nun sagen, das Lichtsignal ist im ganzen zwölf Stunden ausgeblieben, folglich muß es um sechs Uhr bei der zweiten Uhr gewesen sein. Diese hat damals tatsächlich 6 Uhr gezeigt und ist also wirklich mit der ersten Uhr synchron. Aber die unteren Uhren erscheinen uns nicht synchron, sondern die rechte Uhr scheint um mehr als dreiundeinhalb Stunden nachzugehen, und so wird es auch den Bewohnern des oberen fixen Systems erscheinen. Doch auch die Bewohner des unteren Systems können ihre Uhren nur durch Lichtsignale vergleichen. Es soll auch hier ein Beobachter bei der linken Uhr um 12 Uhr mittags ein Lichtsignal abgeben, das, wie man sieht, einen Beobachter bei der rechten unteren Uhr um 6 Uhr trifft. Dieser gibt wieder im selben Augenblicke ein Zeichen zurück, das, wie sich zeigt, um 12 Uhr mitternachts pünktlich bei der linken unteren Uhr eintrifft. Also

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

auch die Bewohner des unteren Systems, die sich für ruhend halten werden, schließen gleichfalls, da das Lichtsignal im Ganzen 12 Stunden ausgeblieben ist, daß es um 6 Uhr bei der anderen Uhr eingetroffen sein muß. Nun zeigte die andere Uhr in diesem Augenblicke 6 Uhr, also ist sie synchron mit der ersten Uhr. Dagegen erscheinen diese beiden Uhren den Bewohnern des oberen Systems als nicht synchron, den Bewohnern des unteren Systems werden hinwiederum die oberen Uhren unsynchron erscheinen. Man sieht, die Gleichzeitigkeit ist in den beiden Systemen eine ganz verschiedene. Aber in beiden Systemen finden die Beobachter, daß das Licht 20 Teilstriche des Maßstabes in 6 Stunden zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Lichtes ergibt sich für beide Systeme gleich.

Aber auch die beiden in Wirklichkeit so riesenhaft großen Maßstäbe werden die Bewohner nicht mit einem Blick miteinander vergleichen können, sondern können dies nur so ausführen, daß wieder die beiden Beobachter, während sich der andere Maßstab vorüberbewegt, um die gleiche Zeit die Marke des anderen Maßstabes ablesen, welche sich ihnen gerade gegenüber befindet. Die Bewohner des oberen Systems sollen diese Maßstabsvergleichung gerade um 12 Uhr machen. Der eine obere Beobachter bei Teilstrich 0 liest am unteren Maßstab um 12 Uhr gleichfalls die Marke 0 ab. Der zweite obere Beobachter dagegen bei Teilstrich 20 liest am unteren Maßstabe um 12 Uhr die Marke 25 ab. Die Bewohner des oberen Systems schließen somit, daß 25 Teilstriche

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

des unteren Maßstabes sich mit 20 Teilstrichen ihres Maßstabes decken, daß der untere Maßstab mithin vierfünftel verkürzt ist, also genau so, wie auch wir es sehen. Auch die Bewohner des unteren Systems müssen sich zur Maßstabsvergleichung wieder ihrer beiden Beobachter bedienen, die gleichfalls gerade um 12 Uhr die eben vorbeigleitende Marke des oberen Maßstabes ablesen sollen. Der untere Beobachter bei Teilstrich 0 liest um 12 Uhr am oberen Maßstabe gleichfalls die Marke 0 ab, doch der zweite Beobachter bei Teilstrich 20 liest um 12 Uhr am oberen Maßstabe die Marke 25 ab. Die Bewohner des unteren Systems finden somit, daß sich der obere Maßstab von 0 bis 25 mit dem unteren Maßstab von 0 bis 20 deckt, daß also der obere Maßstab vierfünftel verkürzt ist. Aber auch die Vergleichung des Ganges der Uhren des anderen Systems können die Bewohner der Maßstäbe nur wieder durch Zusammenarbeiten der beiden Beobachter anstellen. Der linke obere Beobachter sieht um 12 Uhr die linke untere Uhr bei sich vorbeibewegen und liest auf ihr gleichfalls 12 Uhr ab. Der rechte obere Beobachter sieht dieselbe Uhr um 10 Uhr vorbeiziehen und liest auf ihr 8 Uhr ab. Die Bewohner des oberen Systems finden somit, daß in 10 Stunden der Zeiger der unteren Uhr bloß um 8 Stunden sich fortbewegt, daß der Gang der unteren Uhr also vierfünftel verlangsamt ist, genau so, wie es auch uns erscheint. Wir sehen mithin alles so, als wären wir selbst Bewohner des oberen fixen Systems. Im unteren System dagegen sieht der Beobachter bei 20 um 10 Uhr die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

rechte obere Uhr vorbeigleiten und liest auf ihr 2 Uhr ab. Der untere Beobachter bei 0 sieht dieselbe Uhr an sich um 8 Uhr vorüberziehen und liest auf ihr 10 Uhr ab. Die Bewohner des unteren Systems finden also, daß in der Zeit von 10 Uhr vormittags bis 8 Uhr abends, also in 10 Stunden, der Zeiger der oberen Uhr von 2 Uhr bis 10 Uhr, also bloß 8 Stunden weitergerückt ist, daß also die obere Uhr einen vierfünftel verlangsamten Gang hat. Also die Bewohner des oberen Systems finden mit ihren Maßstäben und ihren Uhren, daß die Bewohner des unteren Systems verkürzte Maßstäbe sowie unsynchrone und verlangsamte Uhren besitzen, die Bewohner des unteren Systems finden dagegen, mit ihren Maßstäben und ihren Uhren, daß die Bewohner des oberen Systems verkürzte Maßstäbe sowie unsynchrone und verlangsamte Uhren besitzen und zwar alles im gleichen umgekehrten Verhältnis. Die Bewohner des unteren Systems werden sich für ruhend halten und das obere System für bewegt. Wer von den beiden hat recht? Beide haben recht; denn es gibt keine Raummessung und Zeitmessung an sich, sondern es gibt ebensoviele verschiedene Raummessungen und Zeitmessungen, als es Geschwindigkeiten bewegter Systeme gibt. Und keines hat den Vorzug vor dem anderen.

Wie das Modell zeigt, sind die Forderungen des Relativitätsprinzips widerspruchslos zu erfüllen, und zwar, wie sich mathematisch beweisen läßt, nur auf diese einzige Weise. Überhaupt hat das Relativitätsprinzip in den Händen der Mathematiker einen großartigen Ausbau

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

erlebt. Unser dreidimensionaler Raum kann nicht für sich bestehen ohne die Zeit und ebenso kommt der Zeit keine selbständige Existenz zu, sondern es bestehen nur Raum und Zeit miteinander und bilden eine vierdimensionale Mannigfaltigkeit, welche Minkowski „die Welt" nennt. Nur diese vierdimensionale Welt hat absolute Abmessungen. Wir zerlegen diese Welt in Raum und Zeit, aber wir zerlegen sie anders, wenn wir uns mit anderer Geschwindigkeit bewegen, und kommen so zu Räumen mit verschiedenen Abmessungen und verschiedener Gleichzeitigkeit. Aber wie wir die Welt auch in Raum und Zeit zerlegen, wir nehmen immer dieselben Naturgesetze wahr. Und die Gesetze der Physik erhalten in dieser vierdimensionalen Welt eine wunderbar vereinfachte und elegante Gestalt.

Wenn in dem einen System die Bewohner die Maßstäbe des anderen Systems verkürzt finden, die Bewohner in dem anderen System wieder die Maßstäbe des ersteren verkürzt, so wird man schon dadurch auf den Gedanken geführt, daß beide Bewohner auch ganz verschiedene Kräfte wahrnehmen werden. Und dies läßt sich an folgendem Fall noch viel klarer sehen. Wenn eine elektrische Ladung mit beträchtlicher Geschwindigkeit sich bewegt, so wird man außer den elektrischen Kräften in ihrer Umgebung auch noch magnetische Kräfte wahrnehmen, denn bewegte Elektrizität wirkt wie ein elektrischer Strom. Aber Beobachter, die sich mit der bewegten Ladung mitbewegen, nehmen nur elektrische Kräfte wahr, denn in bezug auf sie hat ja die elektrische Ladung keine Bewegung. Der mitbewegte Beobachter

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nimmt also ein ganz anderes Kräftesystem wahr als der ruhende Beobachter und dies darf uns nicht wundernehmen, denn er mißt ja auch mit mitbewegten Meßinstrumenten. Diese Erscheinungen stehen ganz in Einklang mit den Gesetzen der modernen Elektrizitätslehre, der Elektronentheorie, welche überhaupt als der derzeit höchst entwickelte Zweig der Physik zu gelten hat. Bei anderen physikalischen Erscheinungen kann das Relativitätsprinzip dazu benützt werden, um überhaupt erst die Gesetze bei höheren Geschwindigkeiten daraus zu erschließen, indem nämlich für den mitbewegten Beobachter die Erscheinungen so verlaufen müssen, als ob alles in Ruhe wäre. Darum ändert das Relativitätsprinzip vielfach die bestehenden physikalischen Gesetze etwas ab, aber nur um Größen, die sich erst bei Geschwindigkeiten, die vergleichbar sind mit der Lichtgeschwindigkeit, bemerkbar machen. Auch die Gesetze der Mechanik ändern sich etwas, doch sind selbst die Geschwindigkeiten der Planeten so klein gegen die Lichtgeschwindigkeit, daß diese Abweichungen ganz verschwinden. Bei ganz großen Geschwindigkeiten muß nämlich die Masse eines Körpers größer werden und ungleich, je nach der Richtung der Kraft gegen die Geschwindigkeit. Die Elektronen, welche sich mit Geschwindigkeiten bis gegen die Lichtgeschwindigkeit bewegen, zeigen tatsächlich dieses Verhalten ihrer Masse. Diese Masse ist zwar elektromagnetischen Ursprunges, aber es gehört zu den schönsten Folgerungen des Relativitätsprinzips, daß die Masse nur eine Eigenschaft der Energie ist, und zwar

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

jede Energie, gleichviel ob sie nun elektrische oder magnetische ist oder sonst irgend eine, ist träge. Auch die mechanische Masse ist bloß die Wirkung des gesamten Energieinhaltes der Körper. Aber die Lichtgeschwindigkeit ist die obere Grenze aller Geschwindigkeiten; denn man würde schon unendlich viel Arbeit leisten müssen, um eine Masse auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen und bei Lichtgeschwindigkeit würde die Dimension aller Körper in der Bewegungsrichtung auf Null zusammenschrumpfen. Aber alle Kräfte durch den leeren Raum müssen sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Dies sollten nur einige Beispiele sein, um die Bedeutung des Relativitätsprinzipes für die moderne Physik zu illustrieren. Bisher kam man damit noch niemals in Widerspruch mit der Erfahrung, sondern brachte vielmehr besonders in den Zusammenhang zwischen den Gesetzen der Optik und der Elektrizität die durch die elektromagnetische Lichttheorie erforderliche Übereinstimmung in ungezwungendster Weise zustande. Und ob es sich auch weiter so glänzend bewährt, nur davon wird seine Geltung abhängen. Aber wie dem auch sein möge, es ist ein gewaltiger Schritt von den ersten naiven Vorstellungen über Himmel und Sterne bis zum heutigen Relativitätsprinzip, das selbst Minkowski einmal eine „Verwegenheit mathematischer Kultur" nennt. Und die durch das Relativitätsprinzip gebotenen Anschauungen über Raum und Zeit bezeichnen gewiß einen bedeutenden Markstein in unserer Erkenntnis

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

und wären vielleicht der geistreichste Irrtum, denn die Menschheit je begangen hat, sollten sie sich doch als unrichtig herausstellen. Und ist es nicht merkwürdig, daß unser großer deutscher Philosoph, Emanuel Kant, Raum und Zeit bloß als „Anschauungsformen unseres Denkens", wie er sich ausdrückt, bezeichnet und dies ein Jahrhundert früher? Ich glaube, daß man da die „Verwegenheit" milder beurteilen kann und sich vielleicht rascher an die neuen Anschauungen gewöhnt, als es ursprünglich den Anschein hatte.

Anhang.

Die Verwendung von Lichtsignalen zum Gleichrichten der Uhren ist bereits in den grundlegenden Arbeiten von A. Einstein enthalten. Es ist das Verdienst des englischen Mathematikers Edward V. Huntington[1]), als erster auch die Verhältnisse diskutiert zu haben, die eintreten, wenn man mit Lichtsignalen auch die Distanzen bestimmt.

Es sollen auch einige Angaben über den verwendeten Apparat nachgetragen werden, der in der mechanischen Werkstätte des II. physikalischen Laboratoriums der k. k. Technischen Hochschule in Wien ausgeführt wurde. Würde man die beiden Maßstäbe wirklich für den Weltenraum anfertigen und den unteren tatsächlich mit drei-

---

[1]) A New Approach to the Theory of Relativity. Phil. Mag. XXIII, 494 (1912).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

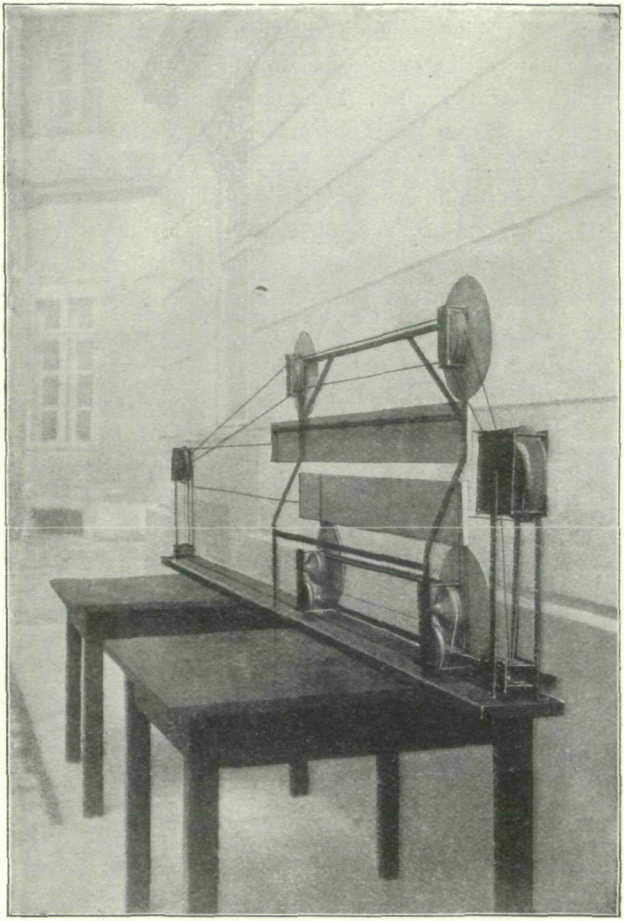
fünftel Lichtgeschwindigkeit bewegen, so müßte man beide gleich groß dimensionieren und der mit so bedeutender Geschwindigkeit bewegte untere Maßstab würde dann von selbst jene Kontraktion aufweisen. Desgleichen müßte man die unteren Uhren genau so konstruieren wie die oberen Uhren, es sollen etwa alle ganz gleiche Pendeluhren sein mit genau gleich langem Pendel, und die am unteren Maßstab aufgestellten Uhren werden dann von selbst jene Verlangsamung des Ganges aufweisen. An dem Modell ist die Lichtgeschwindigkeit aber nur symbolisch durch einen Schnurlauf dargestellt, den man mehr oder weniger rasch bewegen kann, aber jedenfalls nur mit einer zur merklichen Hervorbringung dieser Effekte ganz und gar unzureichenden Geschwindigkeit. Darum muß der untere Maßstab von vorneherein verkürzt und die im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit richtige Geschwindigkeit des Wagens und die richtige Umdrehungsgeschwindigkeit der Uhrzeiger muß durch passende Schnurlautübersetzungen erreicht werden. So besitzt an dem ausgeführten Modell die Lichtsignalwelle drei Transmissionsscheiben von einem wirksamen Radius von 100 mm, 60 mm und 15 mm. Auf der größten Scheibe von 100 mm Radius läuft die Lichtsignalschnur, dagegen auf der mittleren Scheibe von 60 mm Radius die Schnur, welche sich mit dem Wagen bewegt. Der Wagen läuft auf vier Rädern, von denen die vor den Zifferblättern sichtbaren niederen Räder in einer Führungsrinne des langen Grundbrettes laufen, während die beiden großen Laufräder hinter den Zifferblättern mit einer Übersetzung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

1 : 5 die Zeiger der unteren Uhren bewegen. Auf der Zeigerwelle der oberen Uhren sitzt eine Transmissionsscheibe von einem wirksamen Radius von genau der gleichen Größe wie der Radius der großen Laufräder des Wagens und ist durch einen Schnurlauf mit der kleinsten Scheibe der Lichtsignalwelle von bloß 15 mm Radius verbunden. Zum Überfluß ist noch vermittelst gleich großer Transmissionsscheiben ein Schnurlauf zwischen den beiden oberen Uhren geführt und ebenso auch zwischen den beiden unteren Uhren, um die Sicherheit des Funktionierens besser zu gewährleisten. Die Abbildung gibt einen seitlichen Blick von rückwärts in den Mechanismus des Apparates.

Die Dimension der großen Laufräder des Wagens hängt natürlich von der Länge der Maßstäbe ab. Bei dem ausgeführten Apparat, der im ganzen fast vier Meter Länge hat, ist die Teilstrichdistanz am oberen Maßstab 65 mm, am unteren Maßstab 52 mm, und der Radius der großen Laufräder des Wagens mußte 62 mm gewählt werden. Alle Transmissionsscheiben wurden aus Holz ausgeführt und als Schnüre 3 mm dicke Transmissionssaiten, mit den üblichen Ösen geschlossen, verwendet. Es mußte in Rechnung gezogen werden, daß der wirksame Radius der Transmissionsscheiben um die halbe Dicke der Saiten größer ist als der Radius der Rinnenbasis an der Peripherie. Für die ganz enge Transmission von der Laufradachse zur Uhrzeigerwelle des Wagens kam beiderseits je ein nahtloser Gummiring statt der Saite in Verwendung.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



©Ver. zur Verbr. naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Während die beiden oberen Uhren auf gleiche Zeit einzustellen sind, muß die rechte untere Uhr gegen die linke untere Uhr gerade um dreiunddreifünftel Stunden zurückgestellt werden. Man setzt den ganzen Apparat am besten durch Fortschieben des Wagens in Tätigkeit und sowohl die Lichtsignale als auch die Uhrzeiger bewegen sich mit der entsprechenden Geschwindigkeit gleichzeitig weiter, kurz die Zeit jener Systeme nimmt ihren Verlauf mehr oder weniger schnell, wie rasch man eben den Wagen fortschiebt. Läßt man den Wagen aber stille stehen, so halten auch die Lichtsignale und alle Uhrzeiger inne und so bleibt gleichsam die Zeit jener Systeme für diese Augenblicke stille stehen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: 54

Autor(en)/Author(s): Flamm Ludwig

Artikel/Article: Die neuen Anschauungen über Raum und Zeit. 25-70