

## 21. Die vermeintliche vierdimensionale Raumzeit

Vor der Einführung des Rechnens mit Größen rechnete man nur mit den sogenannten Zahlenwerten, also ohne jede physikalische Größe. An Unklarheiten, die aus dieser Zeit stammen, leiden wichtige Aussagen der Physik noch heute. Das sei am Beispiel der von Hermann Minkowski eingeführten «Weltlinie» eines sich bewegenden Punktes erläutert.

Wenn ein Ding linear schwingt, bewegt es sich auf einer (geraden) Strecke periodisch hin und zurück. Es befindet sich dann zu verschiedenen Terminen an dem jeweils gleichen Ort, so daß dem Bild der Bewegungsbahn nicht zu entnehmen ist, zu welchem Termin sich das Ding an einem jeweils bestimmten Ort befindet (linkes Teilbild des Bildes 21.1).

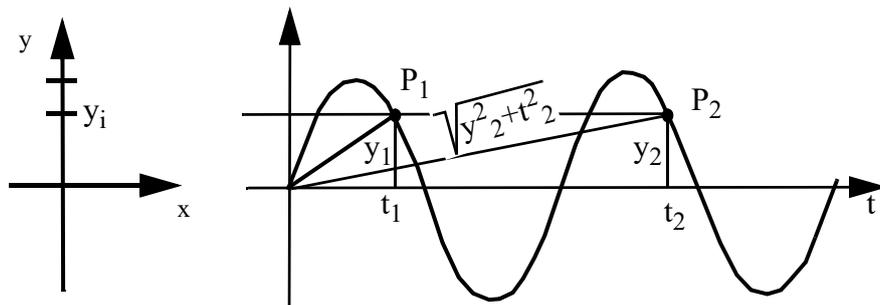


Bild 21.1. Die Bewegungsbahn und die sogenannte Weltlinie eines (punktförmigen) Dinges, das harmonisch auf einer geraden Bahn schwingt

Wird die x-Achse dieses Teilbildes durch eine t-Achse (Zeitachse) ersetzt und werden die Auslenkungen  $y_i$  in Abhängigkeit von den verstrichenen Bewegungsdauern  $t$ , abgetragen, ergibt sich bei einer harmonischen Schwingung das Bild einer (als Weltlinie bezeichneten) Sinuslinie (rechtes Teilbild des Bildes 21.1). Anstatt einem Ding nur die Auslenkung  $y$ , zuzuordnen, ordnet man jetzt jedem Punkt  $P_i$  der Bahn eine Strecke mit der 'Länge'  $\sqrt{y_i^2 + t_i^2}$  zu. Diese Zuordnung ist aber nur möglich, wenn man - wie vom Zahlenwertrechnen her gewöhnt - " $y_i$ " und " $t_i$ " nicht als Zeichen für die verschiedenartigen Größen "Länge" und "Dauer" betrachtet, sondern als Zeichen für die Zahlenwerte dieser (in bestimmten Einheiten angegebenen) Größen; sonst könnte man die Summanden unter dem Wurzelzeichen nicht addieren. Mit Hilfe des Wurzelausdrucks kann jeder Bahnpunkt eindeutig gekennzeichnet und damit der Ort des Dinges zu jedem Termin eindeutig angegeben werden. - Es ist zu beachten, daß die Weltlinie zweidimensional ist, obwohl sich das Ding auf einer eindimensionalen Bahn bewegt.

Entsprechend kann man bei einer Bewegung auf einer zweidimensionalen Bahn verfahren. Ist die Bahn kreisförmig, ergibt sich für sie das linke Teilbild des Bildes 21.2.

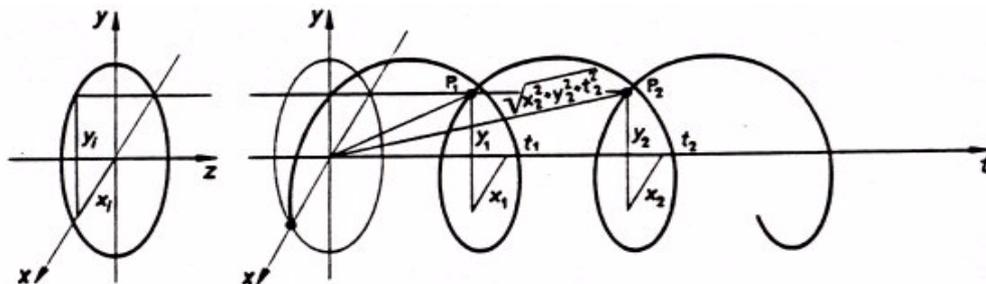


Bild 21.2. Die Bewegungsbahn und die sogenannte Weltlinie eines (punktförmigen) Dinges, das auf einer kreisförmigen Bahn mit konstanter Geschwindigkeit umläuft

Wird die z-Achse durch eine t-Achse ersetzt und werden die Koordinaten  $x_i$  und  $y_i$  in Abhängigkeit von den Dauerkoordinaten  $t_i$  gezeichnet, geht die zweidimensionale Bahn des Dinges in eine dreidimensionale Schraubenlinie über. (Läuft das Ding mit konstanter Geschwindigkeit um, hat die Schraubenlinie eine konstante Steigung.) Jedem Punkt der zweidimensionalen Bahn wird auf diese Weise eine Strecke mit der 'Länge'  $\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + t_i^2}$  eindeutig zugeordnet.

Erfolgt eine Bewegung auf einer dreidimensionalen Bahn, zum Beispiel auf einer Schraubenlinie, kann die zugehörige vierdimensionale Weltlinie nicht mehr gezeichnet werden. Ihren Punkten lassen sich nur noch rechnerisch Strecken mit der 'Länge'  $\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + t_i^2}$  zuordnen.

Man sagte auffallenderweise aber nicht, daß die Bewegungen bei dem geschilderten Vorgehen auf ein vierdimensionales Zahlenkontinuum abgebildet werden, sondern sprach - bei den sich an die Einführung der Weltlinien anschließenden Überlegungen - von einer Geometrisierung (und nicht von einer Arithmetisierung) der Physik, interpretierte also anscheinend sowohl die Zeichen " $x_i$ ", " $y_i$ " und " $z_i$ " wie auch das Zeichen " $t_i$ " als Zeichen von Längen. („ $t$ “ ebenfalls als Zeichen einer Länge zu interpretieren, lag allenfalls insofern nahe, als in Bildern der Art 21.1 und 21.2 die Bewegungsdauern  $t_i$  als Strecken abgebildet werden.) Merkwürdigerweise sagte man auch nicht, daß die physikalischen Vorgänge auf ein vierdimensionales geometrisches Kontinuum abgebildet würden, sondern sagte - trotz der Rede von der Geometrisierung der Physik -, daß die Vorgänge auf ein vierdimensionales Raumzeit-Kontinuum abgebildet würden. Man interpretierte  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  und  $t_i$  also tatsächlich nicht als Längen, sondern als irgendwie gleichartige Größen einer irgendwie einheitlichen 'Raumzeit', in der die phänomenologisch so grundverschiedenen Anschauungsformen "Raum" und "Zeit" irgendwie aufgehen sollten.

Gegen die Bildung der Wurzel ausdrücke, die die quantitative Untersuchung der Phänomene erleichtern, ist nichts einzuwenden, sofern man sich darüber im Klaren ist, was man dabei tatsächlich macht. Das war aber offenbar nicht immer der Fall.

Diese Wurzel ausdrücke waren mit der erste Anlaß für viele Physiker, unsere Welt nicht mehr als eine Welt zu betrachten, die - aufgrund unserer Anschauungsformen - in ein dreidimensionales räumliches und in ein eindimensionales zeitliches Kontinuum eingebettet erscheint; sie deuteten jetzt die Welt als ein vierdimensionales «Raumzeit-Kontinuum». Eine solche Interpretation verfehlt die Phänomene und die Sachverhalte. Die Einführung der Weltlinien ist ein Teil des Bemühens, die Welt auf eine vermeintlich geometrische, tatsächlich aber arithmetische Struktur abzubilden, aber kein Akt, der erlauben würde, erkenntnistheoretische Einsichten zu verwerfen. Dieses Bemühen ist interessant und war wohl auch erforderlich, weil die zutreffende Erfassung der Natur eine so komplexe Aufgabe ist, daß man diese nur schrittweise und nicht in einem einzigen Anlauf bewältigen kann. Der Erkenntnisweg mußte deshalb offenbar über eine vereinfachende 'Geometrisierung' verlaufen. Es ist aber nicht zulässig, aus Erfolgen bei der Berechnung von Aufgaben aufgrund solcher Bemühungen zu schließen, daß unsere physikalische Welt eine rein 'geometrische' Welt sei. Die Möglichkeit, die Welt auf 'geometrische' Strukturen abzubilden, darf nicht dazu mißbraucht werden, die physikalische Welt, also die Welt, in der wir leben und die wir erleben, wegzuinterpretieren. Die Naturwissenschaft hat die naturwissenschaftlichen Phänomene verständlich zu machen, aber nicht zu leugnen. Heute lehnen auch führende Wissenschaftstheoretiker die Annahme einer irgendwie einheitlichen Raumzeit ab. So sagt zum Beispiel auch Bernulf Kanitscheider /15/, daß der Plan, «alle physikalischen Systeme aus einer Geometrie aufzubauen», gescheitert und daß der «Idealismus» der «Raumzeit-Philosophie» «Ausdruck einer wissenschaftsdynamischen Übergangsphase» ist.

Wenn wir Aussagen, die einer Nichtbeachtung der Erfordernisse des Größenrechnens entspringen, an unsere Schüler weitergeben, ohne sie zutreffend zu interpretieren, tragen wir auch auf diese Weise dazu bei, den Schülern die Welt zu verfremden. Unser tatsächliches, unser erlebtes Leben spielt sich sowohl in der eindimensionalen Zeit wie im dreidimensionalen Raum ab und nicht in einer vierdimensionalen «Raumzeit». Es sollte deshalb kein Physiklehrer der Versuchung erliegen, die phänomenologische Welt wegzureden und durch ein Strukturkonstrukt 'ersetzen' zu wollen.