Die Beschleunigung

Gegenstand:

Im Rahmen der Kinematik wird die Beschleunigung eingeführt. Man unterscheidet Momentan- und Durchschnittsbeschleunigung, Bahn-, Radial-, Normal- und Winkelbeschleunigung, Zentrifugal- Zentripetal- und Coriolisbeschleunigung. Man lernt, dass die gleichförmige Kreisbewegung eine beschleunigte Bewegung ist.

Mängel:

1. Mit Hilfe von Fachausdrücken kann man sich kürzer fassen. Man packt in ein einziges Wort, wozu man sonst einen ganzen Nebensatz gebraucht hätte. Aussagen können dadurch verständlicher werden. Für die Anzahl der Fachausdrücke gibt es aber wohl eine Art Optimum. Denn benutzt man zu viele, so wird die Verständlichkeit wieder geringer. Die Aussagen werden zwar zunächst kürzer, aber man verliert dadurch wieder an Kürze, dass man die Fachausdrücke definieren muss, und man verliert an Verständlichkeit, weil der Lernende die Definitionen kennen muss. Die Proliferation von unterschiedlichen Namen für ein und dieselbe physikalische Größe, die Beschleunigung, ist hierfür ein Beispiel.

2. Die Bewegung eines Punktes kann man durch verschiedene Zeitfunktionen beschreiben. Die gebräuchlichsten sind die Position $s(t)$, die Geschwindigkeit $v(t) = ds/dt$ und die Beschleunigung $a(t) = d^2s/dt^2$. Man kann aber auch noch höhere Zeitableitungen von $s(t)$ einführen. Die dritte Zeitableitung von $s(t)$ nennt man gelegentlich den "Ruck". Der Name bringt die anschauliche Bedeutung der Größe gut zum Ausdruck. Wenn es einem nicht darum geht, sich auf der kinematischen Spielwiese auszutoben, so muss man sich aber fragen, welche dieser Funktionen man wirklich braucht.

Betrachten wir als Beispiel einen wichtigen Bewegungstyp: die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Die Beschreibung mit Hilfe der Position s ist, wenigstens für Schüler, recht kompliziert, denn $s(t)$ ist eine quadratische Funktion. $v(t)$, in unserem Fall eine lineare Funktion, ist einfacher. Mathematisch noch simpler wird die Beschreibung mit der Beschleunigung, denn $a(t)$ ist konstant. Am einfachsten im Sinne der Mathematik ist aber das Verhalten der dritten Zeitableitung: Sie ist für alle t gleich null. Selbstverständlich kann man viel lernen, wenn man diese Funktionen miteinander vergleicht. Wenn es einem aber auf eine möglichst knappe Beschreibung von Bewegungen ankommt, so wird man versuchen, sich auf die Diskussion derjenigen dieser Funktionen zu beschränken, die der Anschauung am besten zugänglich sind. Meiner Meinung nach sind das $s(t)$ und $v(t)$. Die Funktion $v(t)$ in unserem Beispiel sagt uns, dass die Geschwindigkeit mit der Zeit gleichmäßig zunimmt. Ich glaube, diese Aussage ist anschaulicher als die, die Beschleunigung sei konstant. Man sieht es zum Beispiel daran, wie auch technisch geschulte Personen die Beschleunigung eines Autos angeben. Sie sagen nicht, die Beschleunigung betrage soundsoviele Meter pro Sekunde zum Quadrat, sondern sie sagen, das Auto beschleunige von 0 auf 100 in soundsoviel Sekunden. Es wird also mit $v(t)$ argumentiert.

Als Physiklehrer oder -lehrerin glaubt man nun vielleicht, ohne die Größe Beschleunigung gar nicht auszukommen, tritt sie doch in der wichtigsten Gleichung der Mechanik auf, nämlich im zweiten newtonschen Gesetz. Tatsächlich gibt es aber die Beschleunigung bei Newton selbst gar nicht. Sein zweites Gesetz formuliert er mit der zeitlichen Änderung des Impulses.

3. Der Name Beschleunigung für die Größe a ist Ursache für manch eine logische Unstimmigkeit. Kürzlich habe ich in einem Aufsatz die folgende Formulierung gefunden: "...dass geladene Teilchen, immer wenn sie beschleunigt oder verzögert werden oder wenn sie die Bewegungsrichtung ändern, Strahlung emittieren." Gegen diese Formulierung ist sicher nichts einzuwenden. Schon im nächsten Satz heißt es aber: "...Teilchen, die sich auf einer Kreisbahn bewegen – sogar bei konstanter Geschwindigkeit – sind beschleunigt und emittieren also...". Während im ersten Satz noch zwischen beschleunigen, verzögern und Richtung ändern unterschieden wird, führt im zweiten kurzerhand jedes Teilchen eine beschleunigte Bewegung aus, für das $a(t)$ von null verschieden ist.

Man kennt das Problem natürlich von anderswoher. Oft hat die Umgangssprache für die positiven Werte einer physikalischen Größe ein anderes Wort als für die negativen, oder für die großen Werte ein anderes als für die kleinen: Beschleunigung - Verzögerung, Druck - Zug, Wärme - Kälte. Die Physik braucht nun aber *einen* Namen für eine Variable und nicht, je nach ihrem Wert, verschiedene. Dass Probleme auftreten, ist daher kaum zu vermeiden. Man kann und sollte aber sehr wohl vermeiden, aus dem unpassenden Größennamen wieder ein Adjektiv zu bilden, denn so entsteht schlechter Fachjargon. Genau das ist bei der Beschleunigung passiert. Man sagt, die gleichförmige Kreisbewegung sei eine beschleunigte Bewegung – obwohl doch nichts schneller wird. Gewiss, die Geschwindigkeit ändert sich. Aber die kann sich eben auch ändern, ohne dass der Körper schneller wird. Man lässt sich also auf Grund des Namens der Größe zu einer unpassenden Aussage verleiten, und verkauft dann den Widersinn – die gleichmäßige Kreisbewegung ist eine beschleunigte Bewegung – als physikalische Einsicht.

Herkunft:

Im Gegensatz zur verbreiteten Ansicht, hat Newton (1643 - 1727) eine Größe Beschleunigung nie benutzt. Nach seiner Formulierung des zweiten Gesetzes ist die Änderung der “Bewegung” proportional zur Kraft. Das Wort Bewegung (motus) benutzte er oft abkürzend für “Bewegungsmenge” (quantitas motus), also das, was wir heute Impuls nennen. Auch bei Huygens (1629 - 1695) gibt es die Beschleunigung als physikalische Größe noch nicht /1/. In einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1754 benutzt Euler den Differentialquotienten d^2s/dt^2 , gesteht ihm aber kein eigenes Symbol zu und nennt ihn nicht Beschleunigung /2/. Die früheste Stelle, an der ich die Beschleunigung als Variable gefunden habe, ist in den Opera omnia von Johann Bernoulli aus dem Jahr 1742 /3/. Offenbar wurde sie eingeführt im Rahmen der zunehmenden Mathematisierung der Mechanik, die nach Newton einsetzte.

Entsorgung:

Man führe eine Größe Beschleunigung gar nicht erst ein. In der Kinematik beschränke man sich auf die Diskussion der Weg-Zeit- und der Geschwindigkeits-Zeit-Funktion. Auch in der Dynamik braucht man die Beschleunigung nicht. Das zweite newtonsche Gesetz formuliert man so: $F = dp/dt$.

Wenn man die Größe a aber schon benutzt, dann sollte man nicht sagen, ein Körper werde beschleunigt oder führe eine beschleunigte Bewegung aus, solange der Betrag seiner Geschwindigkeit nicht zunimmt.

/1/ Dijsterhuis, E. J.: Die Mechanisierung des Weltbildes.– Springer-Verlag, Berlin, 1956. – S. 528.

/2/ Euler, L.: Vollständige Theorie der Maschinen, die durch Reaktion des Wassers in Bewegung versetzt werden. – Ostwald’s Klassiker der Exakten Naturwissenschaften, Nr. 182. – Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1911.

/3/ Sambursky, S.: Der Weg der Physik. – Artemis Verlag, Zürich, 1975. – S. 428.