

Pfeile sind nicht nur zum Schießen gut

T. Wilhelm

Physikalische Zusammenhänge und Gesetze werden auf unterschiedliche Weise beschrieben: mit Worten, mit den Symbolen der Mathematik und mit Bildern. Bei den Bildern spielen die logischen Bilder eine wichtige Rolle, die einen Inhalt darstellen, der so in der Realität nicht direkt beobachtbar ist, und dazu eine bestimmte Kodierung benutzen. Dazu gehören die in vielen Wissenschaften benutzten Liniendiagramme, Histogramme, Balken-, Säulen-, Kreis- und Streudiagramme sowie Mengen-Diagramme und Graphen aus Knoten und Linien. Es gibt aber auch physikspezifische Visualisierungen, wie Feldlinienbilder, Elektronendichteverteilungen und Vektorpfeile für physikalische Größen. In diesem Heft sollen die vielfältigen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich durch die Darstellung physikalischer Größen durch Pfeile ergeben.

Franz Boczianowski zeigt zunächst, wie unterschiedlich in Alltag und Schule Pfeile verwendet werden. In der Physik dagegen werden Vektorpfeile verwendet, deren Pfeillänge den Betrag einer gerichteten Größe darstellt und mit denen man geometrisch und zeichnerisch umgeht. *Franz Boczianowski* hält es für möglich und sinnvoll, Pfeile als themenverbindendes Symbolsystem im Physikunterricht zu implementieren. Sein Beitrag beleuchtet die Potenziale und Probleme beim Einsatz von Pfeilen innerhalb der Mechanik, denn gerade in der Mechanik existiert eine Vielzahl vektorieller Größen, die die Verwendung von Pfeilen nicht nur nahelegt, sondern vielmehr unumgänglich macht. Jedoch existiert nicht einmal innerhalb dieses Themas ein einheitliches Konzept zur Handhabung der Pfeile.

Wolfgang Reusch zeigt auf, dass skalare und vektorielle physikalische Größen grundsätzlich unterschieden werden müssen. Er wirbt für einen möglichst frühen Einsatz der gerichteten Größen in verschiedenen Themenbereichen, wobei koordinatenfreie Pfeildarstellungen die Grundlage bilden. Nach einem kurzen Abriss einiger fachlicher Grundlagen und Probleme wird exemplarisch aufgezeigt, an welchen Stellen des schulischen Unterrichts und in welcher Form die Unterscheidung deutlich gemacht werden soll und kann, damit dieses wichtige Grundkonzept verinnerlicht wird.

Roger Erb stellt das Zeigermodell für den Optikunterricht der gymnasialen Oberstufe vor, das auf eine Idee von *Richard Feynman* zurückgeht und mit einem vergleichsweise abstrakten Verfahren die wichtigsten Eigenschaften der Lichtausbreitung beschreibt. Für die Berechnung der Intensität des Lichts an einem Empfängerpunkt werden alle dabei denkbaren Lichtwege zwischen der Lichtquelle berücksichtigt und für jeden dieser Lichtwege ein Zeiger mit derselben willkürlichen, aber konstanten Länge gezeichnet. Entscheidend ist hierbei, wie weit die Zeiger sich schon aus der Ausgangslage gedreht haben. Diese Zeiger werden wie Vektoren addiert und das Quadrat eines resultierenden Zeigers gibt die Intensität des Lichts an.

Viele Vorteile der Darstellung physikalische Größen durch Pfeile ergeben sich vor allem beim Einsatz des Computers. Hier kann die Darstellung augenblicklich auf veränderte Rahmenbe-

dingungen reagieren oder die Pfeile können sich dynamisch in einem zeitlichen Ablauf verändern. Beides wird vor allem in Simulationen genutzt.

Thomas Wilhelm geht auf Vorteile und Probleme bei dynamischen Pfeilen am Computer ein. Er zeigt an dem Beispiel einer beschleunigten Bewegung eines Wagens auf einer Fahrbahn verschiedene Möglichkeiten der Anordnung der Pfeile auf, wozu eine Realmessung mit dem Videoanalyseprogramm „measure dynamics“ verwendet wurde. Diskutiert wird, welche Darstellung sich wie gut eignet, um den zeitlichen Verlauf einer Größe zu erkennen, und welche, um mehrere Größen miteinander zu vergleichen.

Elektrische und magnetische Feldern werden häufig nicht nur durch Feldlinienbilder, sondern auch durch Pfeilbilder visualisiert. Die Vor- und Nachteile dieser beiden Darstellungen werden von *Michael Suleder* diskutiert sowie einige alternative Darstellungen präsentiert. Aus didaktischer Sicht wird auf die Aussagekraft der unterschiedlichen Darstellungsarten und auf mögliche Fehlvorstellungen eingegangen und aus technischer Sicht werden mögliche Schwierigkeiten beschrieben, beispielsweise bei der Skalierung der Pfeillängen oder der Anordnung der Feldlinien. Letztlich wird dabei für eine größere Bandbreite an Darstellungsformen plädiert.

In der Sekundarstufe II werden häufig Modellbildungssysteme zur mathematischen Modellierung eingesetzt - meist um die Bewegung von Körpern unter dem Einfluss von Kräften zu untersuchen. Die meisten Programme können aber das Simulationsergebnis nur in Diagrammen und/oder Tabellen ausgeben, obwohl eine Ausgabe in Animationen didaktisch sinnvoller wäre. *Hildegard Urban-Woldron* und *Martin Hopf* erläutern an einfachen Beispielen, wie mit Hilfe der objektorientierten Programmiersprache VPython, die ein grafisches Ausgabemodul enthält, in kürzester Zeit ansprechende Modelle physikalischer Systeme erstellt und visualisiert werden können. Dabei können die physikalischen Größen sehr einfach durch Vektorpfeile dargestellt werden, die sich dynamisch mit der Animation bewegen.

Pfeile sind also neben mathematischen Gleichungen und Diagrammen ein mächtiges Hilfsmittel in der Physik und ihr didaktische Potenzial ist längst noch nicht ausgeschöpft. Pfeile sind also nicht nur zum Bogenschießen gut.