

Förderung von Verständnis in der Mechanik durch den Einsatz neuer Darstellungen physikalischen Wissens am Computer

Thomas Wilhelm, Dieter Heuer

Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Physikalisches Institut,
Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg

Kurzfassung

Wenn Versuchsabläufe durch Messgrößen mit dem Computer erfasst werden, können diese heute am Bildschirm anschaulich dargestellt werden. Piktogrammartige Darstellungen der relevanten physikalischen Größen, z.B. in Vektoren, breiten Pfeilen oder Säulen, die dynamisch mit einer Animation mitlaufen, sind ohne Grapheninterpretation direkt erfassbar und Zusammenhänge damit leicht erkennbar. Damit sind neue Methoden für den Unterricht und neue Vorgehensweisen möglich, wozu ein neues Konzept für den Kinematik- und Dynamikunterricht in der elften Jahrgangsstufe entwickelt wurde. Die Darstellung ermöglicht es z.B., schon bei der Einführung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung von einer zweidimensionalen Bewegung auszugehen, um den vektoriellen Charakter von Anfang an deutlich zu machen und so typische Fehlvorstellungen zu vermeiden. Eine Weiterführung der Strukturierung ist mit einer weiteren bildhaften Repräsentation von physikalischen Zusammenhängen möglich: in graphischen Modellbildungssystemen stellt das Netz, das die Abhängigkeit der einzelnen Größen aufzeigt, eine eigene Darstellungsform dar, die die physikalische Struktur betont. Über Unterrichtserfahrungen aus einem Einsatz von Modellbildung nach Abschluß des Dynamikunterrichtes wird kurz berichtet.

1. Vorteile dynamisch ikonischer Repräsentationen

Für Schüler ist es nicht leicht, aus Versuchen neue Sachverhalte zu erschließen und generell Zusammenhänge zu erkennen. Daher ist es wichtig, die Versuchsdaten oder Daten von Simulationen so aufzubereiten, dass der kognitive Aufwand für die Schüler möglichst gering ist. Versuchsabläufe und die zu messende Größen können heute am Computer anschaulich dargestellt werden. Piktogrammartige Darstellungen der relevanten physikalischen Größen, z.B. in Vektoren, breiten Pfeilen, Strahlen oder Säulen, die dynamisch mit einer Animation mitlaufen, sind ohne Grapheninterpretation direkt erfassbar und Zusammenhänge damit leicht erkennbar. Ein paar Beispiele sind im Tagungsbeitrag „Modellbildung und Präsentation mit JPAKMA“ von Herrn Gößwein zu sehen. So bilden bildhafte Repräsentationen eine Basis für Strukturierungen physikalischen Wissens und helfen, Vorstellungen aufzubauen [1]. In einer erweiterten Darstellung sollten zusätzlich zu diesen ikonischen Bildelementen Graphen mit angezeigt werden. Der synchrone Einsatz mehrerer verschiedener Kodierungssysteme, wie z.B. Pfeile und Graphen, bietet nun dem Lernenden die Möglichkeit, kurzzeitig von einer noch ungewohnten, logisch abstrakten Kodierung auf eine gewohnere bildlichere zu wechseln, um so mit den gewonnenen zusätzlichen Informationen Verständnisschwierigkeiten abzubauen [2].

Durch das Medium „dynamisch ikonische Darstellungen“ sind neue Methoden für den Unterricht und neue Vorgehensweisen möglich, die zur Überwindung von Fehlvorstellungen in der Dynamik beitragen können. Deshalb wurde ein neues Konzept für den Kinematik- und Dynamikunterricht in der elften Jahrgangsstufe entwickelt, das viele Möglichkeiten der neuen Darstellungen nutzt. Eine Klasse, die im laufenden Schuljahr danach unter Einsatz des Windows-Programmes PAKMA unterrichtet wurde, zeigt in verschiedenen Verständnistests gute Ergebnisse. Es ist geplant, dass im nächsten Schuljahr voraussichtlich bis zu zehn Lehrer nach diesem Konzept unterrichten werden, wozu ausführliche Unterrichtsmaterialien erarbeitet wurden. Im Folgenden werden einige Prinzipien dieses Konzeptes kurz dargelegt.

2. Prinzipien des neuen Unterrichtskonzeptes

Schon bei der Einführung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung ist es möglich mit ikonischen Bildelementen, nämlich Pfeilen, von einer zweidimensionalen Bewegung auszugehen, um den vektoriellen Charakter der Größen von Anfang an deutlich zu machen und so typische Fehlvorstellungen bei der Behandlung der Beschleunigung zu vermeiden. Denn es ist für die Dynamik wichtig, dass die Schüler Beschleunigung als vektorielle Größe statt als skalare Größe konzeptualisieren. Mit der PC-Maus als Messgerät sind dazu auch Schülerversuche möglich [3].

Bei der Behandlung der Kraft ist es ebenso wichtig, dass die Schüler Kraft als einen Vektor auffassen und ihnen insbesondere deutlich wird, dass Kräfte vektoriell addiert werden. Dies kann dadurch unterstützt werden, dass Kräfte als Pfeile ikonisch dargestellt werden. Wie dies konkret aussehen kann, soll im Zusammenhang mit einigen Experimenten verdeutlicht werden.

Mit dynamisch ablaufenden, ikonischen Darstellungen können nun auch komplexe Versuche durchschaubar werden, was durch den Vergleich verschiedener komplizierter Graphen nur für Experten möglich wäre. Ein Schlüsselversuch zur Darstellung der Proportionalität von der Kraft F und der Beschleunigung a ist ein Versuch, bei dem man die Kraft F während des Versuchsablaufs beliebig ändern kann und dabei a und F kontinuierlich misst, indem man die Fahrbahn neigt und damit eine Hangabtriebskraft auf den Gleiter wirken lässt [4], [5]. Während eines Versuchsdurchgangs kann man nun in Echtzeit den Vorgang auf dem Bildschirm animieren und zeigen, wie die Luftkissenbahn gekippt wird und sich der Gleiter bewegt. Geschwindigkeit, Beschleunigung und die wirkende Hangabtriebskraft können dann als Pfeile an den Gleiter angezeichnet werden und auch ortsfest gezeigt werden (s. Abb. 1). Man sieht dabei: Die Endpunkte von F und a liegen stets auf einem Strahl, der sich um seinen Ursprung dreht, daher ist a und F proportional und zwar völlig unabhängig von der momentanen Geschwindigkeit.

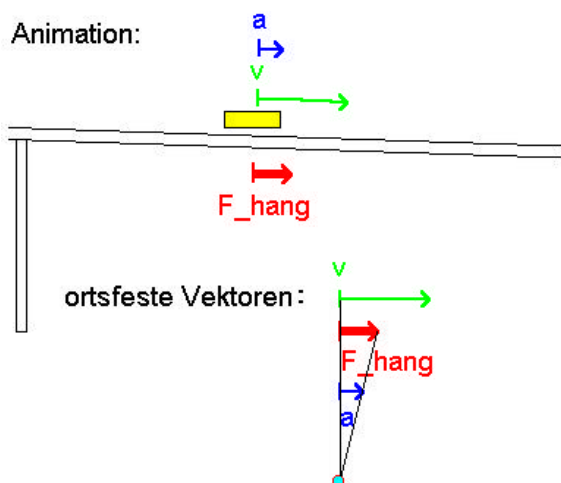


Abb. 1: Animation und ortsfeste Pfeile beim Versuch mit variabler Hangabtriebskraft

Als zusätzliche Kraft zur variablen Hangabtriebskraft bietet sich sowohl die Kraft eines kleinen Zuggewichts an, das über Faden und Rolle auf den Gleiter wirkt, als auch die Schubkraft, die ein Propeller ausübt, der auf dem Gleiter befestigt ist. Um während eines neuen Versuchs oder bei der Reproduktion eines bereits durchgeführten die Idee der Vektorsumme der Kräfte auch grafisch sichtbar zu machen, wird die fehlende Kraft F_{Zusatz} als Pfeil dynamisch mit in das Vektordiagramm wie in Abb. 2 eingezeichnet, um dann die Proportionalität

$\vec{a} \sim (\vec{F}_H + \vec{F}_{\text{Zusatz}})$ als wichtige neue Aussage zu visualisieren.

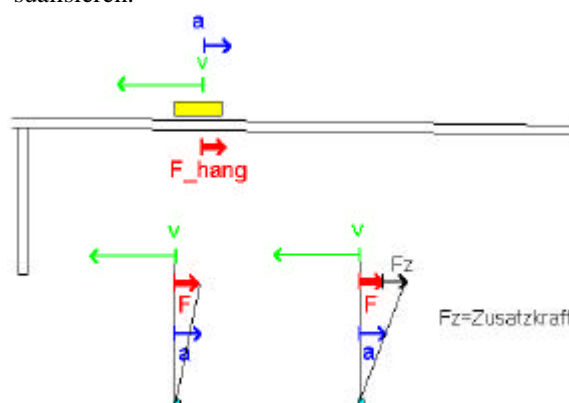


Abb. 2: Animation und ortsfeste Pfeile beim Versuch mit einer zusätzlichen Kraft

Mit Hilfe der dynamisch ikonischen Darstellungen ist auch dann, wenn alle Experimente als Demonstrationsversuche vorgeführt werden, ein schülerzentrierter Unterricht möglich: Die Schüler sollen die Ergebnisse formulieren, beschreiben und diskutieren. Ein sehr wichtiger Punkt dabei ist, dass vor der Durchführung der Versuche von den Schülern detaillierte Vorhersagen gefordert werden, z.B. über die Richtung jedes Pfeils und über die Änderung seiner Länge. Anschließend können die Schüler ihre Vorhersagen mit den Versuchsabläufen vergleichen. Die Vorhersagen sollten vom Lehrer in diesem Stadium nicht bewertet und auch nicht hinterfragt werden, sondern nur als verschiedene Vorhersagen gesammelt und vergleichend nebeneinander gestellt werden. Besonders die Unterschiede zwischen verschiedenen Vorhersagen sollen vom Lehrer aufgezeigt werden.

Wenn die Schüler erst einmal daran gewohnt sind, physikalische Aussagen in ikonischen Darstellungen auszudrücken, dann kann dies auch in Testaufgaben verlangt werden. Dadurch sind qualitative, verständnisverlangende Aufgaben zu Vorgängen möglich, die quantitativ von den Schülern nicht bearbeitet werden können.

Eine Weiterführung der Strukturierung ist mit einer weiteren ikonischen, d.h. bildhaften Darstellung von physikalischen Zusammenhängen möglich: in graphisch orientierten Modellbildungssystemen kann man die Wirkungsgefüge, das die Abhängigkeiten der einzelnen Größen voneinander aufzeigt, als eine

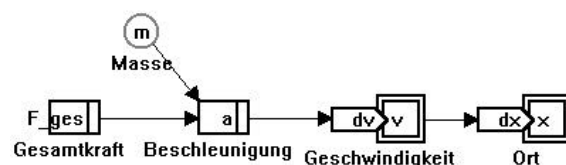


Abb. 3: Die „Newton-Maschine“, ein Teil der Wirkungsgefüge der meisten Modelle in der Dynamik

eigene bildhafte Darstellungsform auffassen, die die physikalische Struktur betont. Ein Beispiel ist im Tagungsbeitrag „Modellbildung und Präsentation mit JPAKMA“ von Herrn Gößwein zu sehen. Hiermit kann visuell verdeutlicht werden, welche Größe auf welche andere einen Einfluss hat, z.B. Gesamtkraft auf Beschleunigung, Beschleunigung auf Geschwindigkeit und diese auf den Ort (s. Abb. 3).

3. Ergebnisse einer Interventionsstudie mit graphischem Modellbildungssystem

Im letzten Schuljahr wurde in drei unterschiedlichen Klassen aus zwei Bundesländern nach Abschluss des Themengebietes „Dynamik“ noch eine Unterrichtssequenz von jeweils sechs Stunden zur Kinematik und Dynamik mit dem Modellbildungssystem Vis-Edit von mir gehalten, wobei einige recht unterschiedliche, komplexere Vorgänge modelliert wurden [6]. Die Ergebnisse sind jeweils sehr ermutigend. Die Schüler selbst fanden den Unterricht gut und sagten, dass er ihnen geholfen habe, Zusammenhänge zu verstehen. Am Ende sollten sie das Arbeiten mit dem Modellbildungssystem bewerten, indem sie sagen sollten, inwieweit verschiedene Aussagen zutreffen. Dabei gaben die Schüler als besonders positiv an, dass man viele verschiedene Situationen in kurzer Zeit analysieren könne, das Arbeiten mit Rechenmodellen hilfreich für ihr Verständnis sei und realistische Situationen behandelt wurden und nicht wie sonst nur Idealfälle ohne Reibung.

Außerdem sollten die Schüler vor und nach der Unterrichtseinheit in der Form von Concept maps (d.h. Begriffslandkarten) ihre Vorstellungen, wie verschiedene Größen qualitativ zusammenhängen und welche Größe auf welche wirkt, darlegen. Dann wurde ermittelt, wie oft die Schüler welche Verbindung angaben und aus den häufigsten Verbindungen (für jede einzelne Klasse und für die Gesamtgruppe) ein typisches Modalmap erstellt [7]. Beim Vortest wurden auch Fehlvorstellungen aufgedeckt, die nur in einer Klasse vorkamen und offensichtlich durch den Unterricht bedingt waren (Beispiel: „Bremsen ist Kraft“). Das Gesamtmodalmap könnte dagegen typisch für eine traditionell unterrichtete Klasse sein (s. Abb. 4).

Die Aussage, dass die Beschleunigung auf die Geschwindigkeit wirkt, ist im Vortest insgesamt erfreulicherweise häufig vorhanden (s. Abb. 4). Dass aber genauso die Geschwindigkeit auf den Ort wirkt, ist leider

nur schwach ausgeprägt. Sehr häufig wurde genannt, dass der Luftwiderstand eine Reibung ist. Luftwiderstand und Reibung werden anscheinend aber nicht als Kräfte angesehen. Die Kraftgrößen und die Bewegungsgrößen sind kaum miteinander vernetzt. Mit dem Begriff „Summe der angreifenden Kräfte“ können die Schüler nichts anfangen, obwohl die Lehrer vorher sagten, dass dies unterrichtet wurde. Nur ein Drittel gibt an, dass die Beschleunigung von der Zugkraft abhängt, und nur ein Fünftel, dass sie von der Masse abhängt. Die Aussage „Beschleunigung wirkt auf Kraft“ ist nicht richtig; wahrscheinlich haben die Schüler hier an das zweite newtonsche Gesetz in der Form $F=m \cdot a$ gedacht, da man sowohl „Beschleunigung wirkt auf Kraft“ als auch „Masse beeinflusst Kraft“ findet. D.h. sie haben das zweite newtonsche Gesetz nicht verstanden.

Das Modalmap nach den sechs Stunden Unterricht unterscheidet sich deutlich vom vorhergehenden (s. Abb. 5). Der Begriff „Summe der angreifenden Kräfte“, mit dem die Klasse vorher nichts anfangen konnte, wird nun zu einem wichtigen Begriff. Die meisten der wesentlichen Verbindungen kamen im Nachtest deutlich häufiger als im Vortest vor: $\Sigma F \rightarrow a$

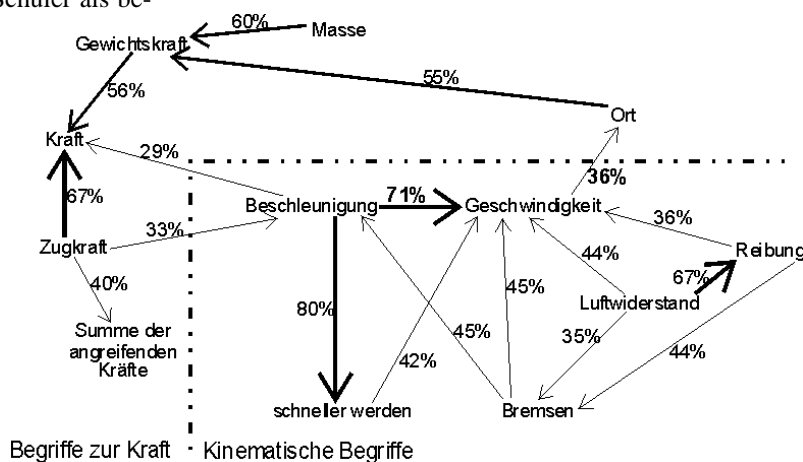


Abb. 4: Modalmap der drei Klassen vor der Unterrichtssequenz

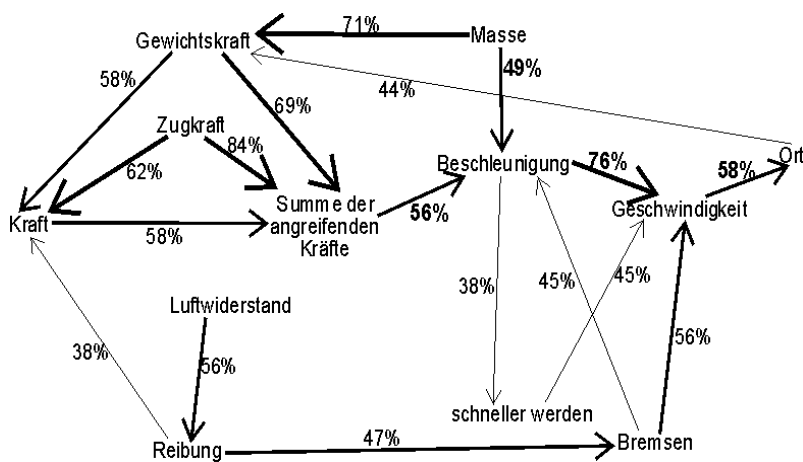


Abb. 5: Modalmap der drei Klassen nach der Unterrichtssequenz

(56% statt 9%), $a \rightarrow v$ (76% statt 71%), $v \rightarrow x$ (58% statt 36%) und $m \rightarrow a$ (49% statt 22%). Die Aussagen „Beschleunigung wirkt auf Kraft“ und „Masse beeinflusst Kraft“ wie auch andere falsche Aussagen finden sich fast nicht mehr.

Zusätzlich ist noch zu sagen, dass im Vortest von den prinzipiell möglichen Verbindungen sehr viele auch wirklich gewählt wurden, während im Nachtest deutlich weniger Verbindungen gezogen wurden. D.h. während beim Vortest in den Klassen noch etliche konfuse Vorstellungen bestanden, haben im Nachtest mehr Schüler gezeigt, was wichtig ist.

In einer Klasse wurde drei Monate später dieser Test wiederholt, wobei sich die Werte gegenüber dem Nachtest nur sehr leicht verschlechterten, also weit besser als im Vortest waren, so dass es sich nicht um ein kurzfristig angeleertes Wissen handeln kann. In einer Klasse in diesem Schuljahr, bei der die Modellbildung schon während der Behandlung der Kinematik und Dynamik immer wieder gezielt eingesetzt wurde, ergab sich ein ähnliches Ergebnis wie im oben erwähnten Nachtest. Hier erschien es so, als ob das Wissen um das Vorgehen beim Erstellen der Wirkungsgefüge den Schülern eine Hilfe beim Rechnen quantitativer Aufgaben war, d.h. sie haben das zugrundeliegende Problemlöseschema auch bei Aufgaben ohne Computer angewandt.

Offen bleibt allerdings noch, ob es sich bei dem Wissenszuwachs, der sich in den Modalmaps zeigte, um ein deklaratives Wissen, also Informationswissen, handelt oder um operatives Wissen und Verständnis, wie es die Schüler selbst behaupteten. Dies muss noch z.B. durch Einzelinterviews geklärt werden. Ungeklärt ist auch, inwieweit die Schüler bei qualitativen Verständnisfragen auf dieses Wissen zurückgreifen oder Alltagswissen benutzen. Trotzdem kann man insgesamt sagen, dass durch die Modellbildung zusätzliches wichtiges Wissen erworben wurde und es Anzeichen gibt, dass dadurch die Begriffsbildung und das Verständnis der Schüler gefördert wurden. So wird die Modellbildung auch ein Teil des Konzeptes sein, das wie erwähnt von etlichen Lehrern im nächsten Schuljahr getestet werden wird.

4. Literatur:

- [1] HEUER, D.: *Konzepte für Systemsoftware zum Physikverstehen* - In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik 45, 1996, Nr. 4, S. 2 – 11
- [2] BLASCHKE, K.; HEUER, D.: *Dynamik-Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstatt-Unterricht Erfahrungen mit einem Unterrichtskonzept* – In: Physik in der Schule 38, 2000, Nr. 2, S. 86 - 91
- [3] W. REUSCH, O. GÖBWEIN, C. KAHMANN, D. HEUER: *Computerunterstützte Schülerversuche zur Mechanik mit der Computermaus als Low-Cost-Bewegungssensor* – In: Physik in der Schule 38, 2000, Nr. 4, S. 269 – 273

- [4] WILHELM, T.; HEUER, D.: *Lernen von Konzepten zur Dynamik - dynamische Physikrepräsentation am Computer zur Visualisierung* - In: Behrendt, H. (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Freiburg i.Br., September 1994, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), Leuchtturm-Verlag, S. 163 - 165*
- [5] HEUER, D.: *Dynamische Repräsentationen Verständnishilfe für Physikalische Experimente* – In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik 45, 1996, Nr. 4, S. 12 – 18
- [6] REUSCH, W.; GÖBWEIN, O.; HEUER, D.: *Grafisch unterstütztes Modellieren und Messen – VisEdit und PAKMA* – In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik 49, 2000, Nr. 6, S. 32 – 36
- [7] PEUCKERT, J.; FISCHLER, H.: *Concept Maps als Diagnose- und Auswertungsinstrument in einer Studie zur Stabilität und Ausprägung von Schülervorstellungen* – In: Fischler, H.; Peuckert, J. (Hrsg.): *Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie, Studien zum Physiklernen, Band 1, Logos-Verlag, Berlin, 2000*

5. Adresse:

StR Thomas Wilhelm, Prof. Dr. Dieter Heuer, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, FAX: 0931 / 70 62 97, E-Mail: wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de