

Modelle ... u. ... Simulationen

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| PISA | 2 |
| PHYSIK-BILDUNGSSTANDARD | 2 |
| NATURWISSENSCHAFTLICHE ARBEITSWEISE | 3 |
| EXPERIMENT UND PRÄSENTATION | 3 |
| SIMULATOREN | 3 |
| RECHEN-SIMULATOREN | 3 |
| REALEXPERIMENT-SIMULATOREN | 4 |
| MODELLBILDUNGSSYSTEME | 4 |
| SIMULATIONS-MODELLE | 4 |
| TRAININGSMODELLE - SIMULATOREN | 5 |
| HAUSARBEITSBEREICH | 6 |
| LERNSOFTWARE | 6 |

PISA

PISA lehrt uns: *Eine physikalische Grundbildung besteht darin, physikalisches Wissen zu erwerben und anzuwenden, physikalische Fragen zu erkennen und aus Belegten Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommene Veränderungen betreffen.*

Betrachtet man den üblichen Standardunterricht der 70er-Jahre – die Schülerinnen und Schüler lernen mehr oder weniger verständliche Formeln für die nächste Klassenarbeit, um sie anschließend sofort wieder zu vergessen –, darf man sich nicht wundern, dass wir in der PISA-Studie nicht besser abgeschnitten haben. Nachhaltigkeit, sinnstiftende Inhalte, Denken in Strukturen ... all das wurde nicht hinreichend deutlich verlangt und auch nicht eingefordert. Es war bisher nicht üblich, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Behandlung eines Themas B gemerkt haben, dass ihnen die Fachmethoden und das Wissen aus dem Thema A, das zuvor behandelt wurde, helfen. Wir erreichen unsere Schülerinnen und Schüler nur dann, wenn sie den Kompetenzzuwachs selbst wahrnehmen.

Welche Rolle spielen die neuen Medien in dieser Entwicklung?

Physik-Bildungsstandard

Im Bildungsstandard steht:

„Physikalisches Wissen besteht nicht nur aus Faktenwissen und aus der Kenntnis von Bezeichnungen, Begriffen und „Formeln“. Wichtig ist auch das Verständnis von grundlegenden physikalischen Konzepten und Modellen, deren Tragfähigkeit ständig hinterfragt werden muss, um die Grenzen physikalischen Denkens erkennen zu können. Schlussfolgerungen zu ziehen bedarf der Fähigkeit, Informationen und Daten auf der Grundlage physikalischer Gesetze zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden.....“

Die Bildungsstandards sind keine Lehrpläne und legen keine Methoden fest, sie formulieren nur Kompetenzen, die erreicht werden müssen. Diese Kompetenzen auf Schülerseite können bei einer intelligenten Organisation des Unterrichts, in dem die Methodenkompetenz der Lehrkraft eine ganz entscheidende Rolle spielt, erreicht werden. Methodenkompetenz bedeutet u.a. die Fähigkeit einen schülerzentrierten, fragend-erarbeitenden Unterricht, Lehrervortrag, Teamarbeitsphasen, Stillarbeit, Praktikum, Schülerpräsentationen, offene Aufgabenstellungen, Kreativitätsphasen, Rollenspiele und nicht zuletzt „neue Medien“ in seiner Unterrichtsplanung zu berücksichtigen.¹

Es soll nicht selten vorkommen, dass die „Glaubwürdigkeit“ einer Physik-Lehrkraft davon abhängt, wie genau die Messwerte ausfallen. Wie viele Lehrkräfte manipulieren die Messanordnung, damit ihre „experimentelle Autorität“ nicht in Frage gestellt wird. Wie viele Lehrproben hängen an einem seidenen Faden, weil die Stunde so geplant wurde, dass ihr Erfolg vom Gelingen oder Misslingen des Experiments abhängt. Welchen Wert hat diese Art von Unterrichtsstunden, selbst wenn das Experiment gelingt? Welchen Wert hat diese Show aus dem Blickwinkel physikalischer Fachmethoden? Diese Show sollten wir den Fernsehanstalten überlassen, die können es nämlich wesentlich besser!

Mit dieser Angst vor dem Misslingen des Experiments spielen nun einige Verlage und steigen in das Simulationsgeschäft ein. Vorausgesetzt, die Lehrkraft kann einen Computer bedienen, hat die richtige Graphik- und Soundkarte zur Verfügung, kann den Beamer bedienen und die verschiedenen Geräte-Parameter aufeinander abstimmen, dann gelingt eine Simulation immer. Aber welchen Wert hat diese Art von Unterricht? Die Fernsehshow wird durch eine virtuelle Welt ersetzt und wo bleibt die Physik?

Es wäre ein schlechter Tausch, wenn wir das lehrerzentrierte suggestive Frage-Antwort-Spiel (.. in dem die Schülerinnen und Schüler nicht das sagen, was sie denken, sondern das formulieren, von dem sie vermuten, dass es der Lehrer hören will...) durch eine virtuelle Show ersetzen – das kann

¹ Spezifisches Methodenrepertoire der Physik - Die Schülerinnen und Schüler

- können Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen untersuchen.
- können Experimente unter Anleitung planen, durchführen, auswerten, graphisch veranschaulichen und einfache Fehlerbetrachtungen vornehmen.
- können Experimente, Messwerte, Diagramme und funktionale Zusammenhänge miteinander in Beziehung setzen.
- erkennen und übertragen Strukturen und können in Analogien denken.
- können computerunterstützte Messwerterfassungs- und Auswertungssysteme im Praktikum unter Anleitung einsetzen.

wohl kaum eine mögliche Lösung sein, um die in den Bildungsstandards vorgegebenen Kompetenzen auf Schülerseite zu erreichen.

Naturwissenschaftliche Arbeitsweise

Im Bildungsstandard steht bei den Fachmethoden:

Die Schülerinnen und Schüler können die naturwissenschaftliche Arbeitsweise Hypothese, Vorhersage, Überprüfung im Experiment, Bewertung, ... anwenden und reflektieren

Will man den Unterricht im Sinne der naturwissenschaftliche Arbeitsweise organisieren, so beginnt die Stunde z.B. mit einer Zielformulierung (... so offen wie möglich und so konkret wie notwendig...). Die Klasse und der Lehrer führen einen Dialog und formulieren Hypothesen; hierbei lenken die Schülerinnen und Schüler den Unterricht ... Sackgassen sind zulässig, in dieser Phase gibt es keine „falschen Hypothesen“, die der Lehrer aussondert, um möglichst schnell sein Unterrichtsziel zu erreichen. Die diskutierten Hypothesen führen zu Vorhersagen, die im Experiment überprüft werden können. Die Schülerinnen und Schüler wissen, dass im Experiment ihre Vorhersagen falsifiziert oder verifiziert werden. Sie wissen, dass im Falle einer Falsifizierung ihrer Vorhersage, die zu Grunde liegende Hypothese falsch war – UND sie wissen, dass bei einer Verifizierung ihrer Vorhersagen noch lange kein Beweis vorliegt, dass damit nur das Vertrauen in diese Hypothese gestärkt wird ...

Experiment und Präsentation

Im Idealfall werden diese Experimente zur Überprüfung der Hypothesen in einer Physiksammlung vorhanden sein und eventuell in Teamarbeit von den Schülerinnen und Schülern selbstständig ausgeführt²– Fehler diskutiert, eine Dokumentation verfasst und die Ergebnisse der Klasse mit mehr oder weniger „**neuen Medien**“ präsentiert.³

Simulatoren

Bei einigen Themenstellungen sind Schulexperimente prinzipiell nicht möglich (z.B. Experimente der Raumfahrt), finanziell nicht erschwinglich oder gefährlich (z.B. Experimente im Bereich der Kernphysik). Bei diesen Randbedingungen greifen andere Möglichkeiten – so z.B. könnten die Schülerinnen und Schüler im **Internet** nach Ergebnissen selbst suchen, Experten befragen⁴ oder die Lehrkraft liefert den Abschluss dieser „Arbeitskette“ in einem Lehrerreferat – ODER die Schülerinnen und Schüler greifen zu einem **Simulationsprogramm**.

Rechen-Simulatoren

Bei der Verwendung eines Simulators kann man zwei Varianten unterscheiden. – so genannte „Rechen-Simulatoren“ und „Realexperiment-Simulatoren“. Ein „**Rechen-Simulator**“ berechnet seine Bildschirmausgabe auf der Basis des „Naturgesetzes“, das er darstellen will. Diese Art von Simulator hat im besten Falle – und der ist leider nicht immer erfüllt – den Charakter einer Veranschaulichung. Es sollte deutlich werden, dass ein Simulator dieser Art in keinem Fall zur Vertrauensbildung bezüglich einer Hypothese beitragen kann. Nur die Tatsache, dass ein Verlag viel Geld investiert hat, um diesen Simulator zu programmieren und der Umstand, dass der Physiklehrer diesen Simulator für teures Geld erworben hat und im Unterricht einsetzt, führt zu einem gewissen Vertrauensbeweis – mehr aber auch nicht.

So z.B. kann ein „Rechensimulator“ für Einzelphotonenexperimente am Doppelspalt, der die Interferenzmuster bei verschiedenem Spaltabstand und Einzelspaltgröße berechnet und animiert darstellt, die komplexen Zusammenhänge verdeutlichen und damit eine methodische Hilfestellung sein, auch wenn er nicht mehr zeigt, als die Gesetze hergeben, nach denen er programmiert wurde. Seine Stärke liegt in diesem Fall in der dynamischen Darstellung verbal gebotenen Zusammenhänge und „statischer Bilder“.

² Naturwissenschaft und Lernen - Die Schülerinnen und Schüler können Beobachtungen und Experimente zum Erkenntnisgewinn nutzen

Physik als Naturbetrachtung unter bestimmten Aspekten - Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden zwischen Beobachtung und physikalischer Erklärung. Wissen, dass naturwissenschaftliche Gesetze und Modellvorstellungen Grenzen haben. Wissen, dass dabei zwischen unserer Erfahrungswelt und ihrer physikalischen Beschreibung unterschieden werden muss.

³ Naturwissenschaft und Kommunikation - Die Schülerinnen und Schüler können naturwissenschaftliche Sachverhalte beschreiben, veranschaulichen und adressatengerecht präsentieren.

⁴ Naturwissenschaft und Kommunikation - Die Schülerinnen und Schüler können Hilfsmittel und Informationsquellen wie Lexika, Fachzeitschriften, Tabellenwerke, Formelsammlungen, Computerprogramme, Internet ... sachgerecht nutzen.

Realexperiment-Simulatoren

„**Realexperiment-Simulatoren**“ berechnen ihre Bildschirmausgaben nicht auf der Basis eines Gesetzes, das sie veranschaulichen wollen, sondern sie bestehen im Prinzip aus einer Sammlung von Photographien eines Realexperiments, die auf dem Computer nur schnell und bedienungsfreundlich dargestellt werden. So z.B. liefert ein „Realexperiment-Simulator“ für Einzelphotonenexperimente bei dem oben angesprochenen Doppelspalt eine Reihe von Photographien eines Realexperiments und hat damit mindestens die Aussagekraft eines Schulbuchs, in dem diese Interferenzmuster abgebildet sind und kann daher gewisse Aspekte der Verifikation bei Vorhersagen in der „naturwissenschaftlichen Schlusskette“ abdecken. Diese Realexperiment-Simulatoren wirken zudem - wenn sie gut programmiert sind - motivierend und anschaulich.

Modellbildungssysteme

Im Bildungsstandard steht bei den Fachmethoden:

Die Schülerinnen und Schüler können ein Modell erstellen, mit einer geeigneten Software bearbeiten und die berechneten Ergebnisse reflektieren

Der Bildungsstandard verlangt verpflichtend den Einsatz der sogenannte „**Modellbildungssysteme**“, die in der Phase der Hypothesenbildung eine wichtige Rolle spielen können. Wenn die Zielsetzung des Unterrichts z.B. die Behandlung einer harmonischen Schwingung ist, wird man die Differenzialgleichung der Mechanik ($F = m \cdot ds^2/dt^2$) mit der Rückstellkraft ($F = -D \cdot s$) verbinden und die resultierende Differenzialgleichung geschlossen lösen. Im Realexperiment stellen die Schülerinnen und Schüler schnell fest, dass sowohl die Dämpfung als auch die Abhängigkeit der Periode von der Amplitude in dieser geschlossenen Lösung des „Idealfalls“ nicht enthalten ist. Sie können in dieser Modellbildungssoftware diesen Realfall, den sie mit der Schulmathematik nicht mehr geschlossen lösen können, „modellieren“, die Parameter am Realexperiment eichen und die Ergebnisse des „Modellbildungssystems“ mit dem Realexperiment vergleichen. Die Betonung der Reflexion der Modellierung und der Passgenauigkeit hat hierbei einen besonderen Stellenwert.⁵

Vor allem bei komplexen Problemstellungen haben sich diese Modellbildungssysteme gut bewährt.⁶ Zudem kann dieser Einsatzbereich die physikalische Intuition schulen.⁷ Vor allem wenn die Modellbildung ein Diagramm liefert, bei dem die Interpretation nicht trivial ist.⁸

Auf diese Modellbildungssysteme wird an anderer Stelle noch ausführlich eingegangen

→ siehe Verzeichnis „**Modellbildungs-Systeme**“

Simulations-Modelle

Wenn der zu untersuchende Gegenstand alleine wegen seiner Dimension (Ausmaßes) dem Experiment nicht mehr zugänglich ist, besteht die Möglichkeit eines Modellexperiments an einer „verkleinerten Ausführung“. So z.B. kann man die Flugeigenschaften von Flugzeugen, Raketen oder U-Booten in realen Experimenten nur mit hohem finanziellen Aufwand „direkt“ untersuchen – wenn das überhaupt möglich ist. Eine Alternative besteht nun darin, von diesem „großen Objekte“ ein „kleines Modell“ herzustellen und die Experimente stellvertretend an diesem „kleinen Modell“ auszuführen.

Bei diesen „Modell-Experimenten“ lautet die erste Frage: Welche Aussagekraft haben die Messergebnisse in den Modell-Experimenten für das große Modell. Wenn die Messung der Auftriebskraft am Modell-Experiment z.B. einen Wert von 100 N liefert, welche Auftriebskraft erfährt dann das Original. Welchen der Maßstabsfaktoren zwischen dem Modell und dem Original spielt hierbei eine Rolle – der Maßstabsfaktor „Massenverhältnis“ – der Maßstabsfaktor „Volumenverhältnis“ – der Maßstabsfaktor „Oberflächenverhältnis“ – oder genügt das Längen- und Breitenverhältnis.

Und die zweite Frage spielt ebenfalls eine erhebliche – wie muss ich die Randbedingungen beim Modell gestalten, damit überhaupt signifikante Aussagen auf das Original möglich sind? Spielt z.B.

⁵ Anwendungsbezug und gesellschaftliche Relevanz der Physik

Die Schülerinnen und Schüler kennen charakteristische Werte der behandelten physikalischen Größen und können sie für sinnvolle physikalische Abschätzungen anwenden.

⁶ Naturwissenschaft und Gesellschaft - Die Schülerinnen und Schüler können in größeren Zusammenhängen denken (z.B. in Kreisläufen), Möglichkeiten und Folgen ihres persönlichen Handelns erkennen und Konsequenzen ziehen (Nachhaltigkeit).

⁷ Physik als ein historisch-dynamischer Prozess - Die Schülerinnen und Schüler erkennen, welche Rolle die Intuition in der Physik spielt.

⁸ Formalisierung und Mathematisierung in der Physik - Die Schülerinnen und Schüler können den funktionalen Zusammenhang zwischen physikalischen Größen graphisch darstellen und Diagramme interpretieren.

die Luftströmung bei einem Modell-Experiment im Windkanal im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit beim Original in der Luft eine Rolle?

Dass diese Frage – z.B. bei der Aerodynamik – eine große Rolle spielt, erkennt man an folgenden Schülerfragen:

- Warum können viele der Insekten fliegen?
- Warum kann eine Ameise aus einem Hochhaus fallen, ohne dass ihr etwas passiert?
- Warum kann sich der Staub in der Luft halten und fällt nicht zu Boden?
- Warum sehen Papierflieger ganz anders aus als „richtige Flieger“?
- Warum verhalten sich Modellflieger anders als „richtige Flieger“?

Im Text → [Reynoldszahl.pdf](#) werden diese und andere Fragen zu diesem Themenbereich beantwortet

Trainingsmodelle - Simulatoren

Der Bau eines Modellflugzeuges in einer Projektwoche, im Kernfach NwT, in einer Arbeitsgemeinschaft oder in einem Seminarkurs ist eine überaus motivierende Unterrichtseinheit, in der Theorie und Praxis im besten Sinne „Hand in Hand“ gehen und die Schülerinnen und Schüler mit Sicherheit „nachhaltig“ lernen.

Der kritische Punkt besteht nun darin, dass man ein Modell mit viel Liebe und Engagement gebaut hat und dieses Modell „in die Luft bringen will“. Das Problem besteht wohl darin, dass man die Steuerorgane des Flugzeuges und die Fernbedienung „in der Theorie“ perfekt verstanden hat – dass man aber noch keine Flugerfahrung hat.

In der Realität (also im Pilotentraining mit richtigen Flugzeugen) besteht die Möglichkeit, dass der Flugschüler neben einem Pilotenausbilder sitzt und in kleinen ungefährlichen Schritten in die Handhabung des Fluggerätes eingeführt wird.

Eine harmlose und billigere Variante ist die Ausbildung der Flugschüler in einem Flugsimulator. Das ist ein Gerät, in dem das Cockpit eines Flugzeuges vollständig nachgebaut wird. Die Frontscheibe des Simulators ist eine Leinwand, auf der dem Flugschüler die Bilder projiziert werden, die er im realen Flug auch sehen würde. In aufwendigen Simulatoren wird durch Manipulation der Lage der Kabine im Raum sogar ein echtes „körperliches Fluggefühl“ vermittelt.

Im Modellbau bestehen nun ähnliche Möglichkeiten, um den Absturz des Modells im ersten Flugversuch zu vermeiden. Man recherchiert im Internet, wo der nächste „Modellflugplatz“ eines „Modellflugvereins“ liegt und nimmt mit diesem Verein Kontakt auf. Nach meinen Erfahrungen sind die Mitglieder in diesen Vereinen sehr aufgeschlossen, den Nachwuchs beim „Einfliegen“ zu helfen. So z.B. kann man eine Schüler-Fernbedienung an eine Trainer-Fernbedienung per Kabel anschließen. Damit hat der Trainer in „gefährlichen Flugsituationen“ die Möglichkeit, das Flugzeug noch rechtzeitig abzufangen und einen Absturz zu verhindern.

Ähnlich wie bei Großflugzeugen gibt es aber auch schon finanziell billige „Flugsimulatoren“ für Modellflugzeuge. EasyFly 3⁹ z.B. ist eine Software, mit der man einen „Mini-Flugsimulator“ auf einem Windowscomputer installieren kann und mit dem man die in der Theorie verstandenen Flugmanöver in der „virtuellen Praxis“ einüben kann. Allerdings sollte man deutlich darauf hinweisen, dass es immer noch ein großer Schritt vom „Flugsimulator“ zur „Flugrealität“ ist ... das gilt sowohl für den Modell-Flug-Simulator als auch für die „Profi-Ausbildung“ in der Lufthansa. Man kann in einem Flugsimulator sehr viel trainieren – aber leider nicht alles.

⁹ ... siehe z.B. <http://www.ikarus-modellbau.de>

Hausarbeitsbereich

Für die Vor- oder Nachbereitung eines Realexperiments in der Hausarbeit oder für eine kurze anschauliche Demonstration innerhalb einer Präsentation gibt es z.T. Argumente, einen Simulator – Rechen- oder Realexperiment-Simulator – einzusetzen.

Lernsoftware

Es gibt didaktische Ansätze, die den Einsatz einer Physik-Lernsoftware innerhalb der Hausarbeit im Sinne eines „Vokabeltrainers“ befürworten. Wenn diese Software darauf abzielt, physikalische Fachmethoden zu schulen, wäre das ein positiver Ansatz. Wenn diese Software aber z.B. nur dazu dient, irgendwelche Naturgesetze, Formeln usw. auswendig zu lernen, gewissermaßen „einzutrichtern“, hat diese Art von Lernsoftware innerhalb der Physik mit Sicherheit sehr kurze „didaktische Beine“.