

Visualisierungen zur relativistischen Physik – das Einsteinmobil

Ute Kraus

Universität Tübingen, Theoretische Astrophysik,
Auf der Morgenstelle 10C, 72076 Tübingen,
ute.kraus@uni-tuebingen.de

Kurzfassung

Visualisierungen können den Unterricht in relativistischer Physik interessanter und lebendiger machen. Dies gilt in besonderem Maß für interaktive Computersimulationen, mit denen sich auf spielerische Weise relativistische Phänomene erkunden lassen. Das „Einsteinmobil“ bringt seit Anfang 2006 solche Exponate als Wanderausstellung in die Schulen.

1. Visualisierungen zur relativistischen Physik

Der Unterricht in Relativitätstheorie basiert meist auf Gedankenexperimenten, geht deduktiv vor und zielt auf die mathematische Formulierung der Theorie ab. Visualisierungen können eine zusätzliche Komponente darstellen, die den Unterricht anschaulicher und lebendiger macht. Sie ermöglichen es, zumindest virtuell relativistische Phänomene auch zu beobachten und mit ihnen zu experimentieren. Mit solchen anschaulichen Materialien kann man relativistische Physik früher als bisher üblich zum Unterrichtsthema machen.

In der Theoretischen Astrophysik Tübingen erstellen wir seit etlichen Jahren Visualisierungen zur Speziellen Relativitätstheorie, zur Allgemeinen Relativitätstheorie und zur relativistischen Astrophysik. Ergänzt durch teils anschauliche, teils auch mathematische Erklärungen stellen wir das Material in didaktischen Zeitschriften und bei Lehrerfortbildungen für den Unterricht vor. Eine Zusammenstellung, die laufend ergänzt wird, bieten wir im Internet an unter www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de ([1]).

2. Das Einsteinmobil

Anlässlich des „Einstein-Jahrs“ 2005 entstand eine Reihe von Exponaten für Sonderausstellungen zu Leben und Werk von Albert Einstein, darunter mehrere interaktive Computersimulationen sowie eine größere Anzahl erklärender Kurzfilme. Eine Auswahl dieser Exponate bringt das „Einsteinmobil“ seit Januar 2006 an Schulen.

Das Einsteinmobil ist eine Wanderausstellung für Schulen, die drei interaktive Exponate sowie drei Filmstationen mit insgesamt elf Filmen umfasst. Die Exponate werden in die Schulen gebracht und dort aufgebaut; sie bleiben für einen Zeitraum von typischerweise zwei Wochen an einer Schule. Nach

einer Einführung für die Lehrerinnen und Lehrer erfolgt die Nutzung in Eigenregie der Schule. Wir erhalten Rückmeldungen durch ausführliche Gespräche mit den verantwortlichen LehrerInnen.

Der Start des Projekts war im Januar 2006. Die Termine für die zunächst geplante einjährige Dauer waren nach kürzester Zeit vergeben, inzwischen ist eine Verlängerung für das Jahr 2007 vorgesehen. Aktuelle Informationen sind auf der Webseite des Projekts zu finden unter der URL www.einsteinmobil.de ([2]).

3. Überblick über die Exponate

Eine Filmstation mit vier Filmen gibt eine erste Einführung in die Spezielle Relativitätstheorie. Ausgehend von einer Person, die einen Ball dribbelt, wird in kleinen Schritten zu dem bekannten Lichtuhrargument für Zeitdilatation und Längenkontraktion hingeführt. Zielgruppe für die Filme sind SchülerInnen ab der 8. Klasse und Rückmeldungen aus den Schulen bestätigen, dass diese Gruppe mit den Filmen erfolgreich arbeiten kann.

Zur Speziellen Relativitätstheorie gibt es zwei interaktive Exponate. Das eine ist das „relativistische Fahrrad“, das im Einstein-Jahr 2005 bereits in verschiedenen Ausstellungen zu erleben war. Die Idee der Simulation: In einer virtuellen Welt, in der die Lichtgeschwindigkeit nur 30 Kilometer pro Stunde beträgt, kann bereits ein Fahrradfahrer annähernd Lichtgeschwindigkeit erreichen. SchülerInnen sitzen auf einem Trimmrad, mit dem sie beschleunigen, bremsen und lenken. Vor sich sehen sie auf einer Leinwand in Echtzeit den Anblick, den die Innenstadt von Tübingen auf einer fast lichtschnellen Fahrt bieten würde. Abbildung 1 zeigt drei Einzelbilder aus der Simulation.

Das Fahrradfahren in der virtuellen Welt ist einfach, denn das Programm verhindert Kollisionen und Stürze. Anders beim zweiten interaktiven Exponat. Mit dem relativistischen Flugsimulator, der wie



Abb. 1: Die Tübinger Marktgassee, in Ruhe gesehen (links), sowie aus der Bewegung bei 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit (Mitte) und 95 Prozent der Lichtgeschwindigkeit (rechts). Die drei Bilder sind am selben Ort aufgenommen. Bilder: Marc Borchers, aus [3].

üblich mittels Joystick gesteuert wird, kann man fast lichtschnell über eine Insellandschaft fliegen. Eine sanfte Landung trotz der verzerrten Wahrnehmung in dieser virtuellen Welt ist eine echte Herausforderung!

Wie die verzerrten Bilder von Fahrradfahrt und Flugsimulator durch Lichtlaufzeiteffekte zustandekommen, erklärt eine weitere Serie von Filmen. Sie ist, wie die erste Filmserie, schrittweise aufgebaut, verwendet kurz und einfach gehaltene Untertitel und setzt ein Physikverständnis etwa auf dem Niveau der 8. Klasse voraus.

Eine dritte Serie aus etwas längeren Filmsequenzen schließlich gibt eine Einführung in Grundgedanken der Allgemeinen Relativitätstheorie: gekrümmter Raum, gedehnte Zeit und Lichtablenkung im Schwerfeld werden anhand von Computersimulationen, Animationen und Astrofotos beschrieben und erläutert.

Zu diesem Themenbereich gehört das dritte interaktive Exponat. Darin blicken wir auf ein Bild, z. B. ein Astrofoto, und setzen in der Simulation zwischen das Bild und uns ein Schwarzes Loch. Die Lichtablenkung am Schwarzen Loch lässt das Hintergrundbild verzerrt erscheinen (Abbildung 2). Das Schwarze Loch kann mit der Maus über das Bild bewegt werden, außerdem besteht eine Auswahl unter Schwarzen Löchern verschiedener Masse sowie unter verschiedenen Hintergrundbildern. Insbesondere kann man anwesende Personen hinter das Schwarze Loch stellen, indem man das Bild auswählt, das eine an den Computer angeschlossene Kamera im Raum gerade aufnimmt.

4. Das Einsteinmobil an den Schulen

Mit dem Einsteinmobil möchten wir Lehrerinnen und Lehrer dabei unterstützen, moderne Physik in der Schule verstärkt zu unterrichten. SchülerInnen sind für Themen aus Relativitätstheorie und Astrophysik empfänglich. Hier ist es möglich, Begeisterung zu wecken, die zu einer positiven Grundein-

stellung zur Physik und allgemein zu den Naturwissenschaften beitragen kann. Beeindruckende Bilder, verblüffende Simulationen und spielerische Herausforderungen tragen dazu bei.

Um diese Ziele über den Ausstellungszeitraum hinaus zu fördern sowie als Einarbeitungs- und Weiterbildungsangebot für LehrerInnen stellen wir zum Einsteinmobil weiteres Material zur Verfügung: Eine Zusammenstellung von Veröffentlichungen zu den Exponaten und verwandten Themen (z. B. [3] zum relativistischen Fahrrad, [4] zur Lichtablenkung an Schwarzen Löchern, [5] zu Grundbegriffen der Allgemeinen Relativitätstheorie) kommt als „didaktische Mappe“ zusammen mit dem Einsteinmobil an die Schulen. Darüber hinaus stellen wir bereits seit einigen Jahren, laufend aktualisiert, Visualisierungen zur relativistischen Physik auf unserer Webseite www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de ([1]) für den Unterricht zur Verfügung.

Die Rückmeldungen aus den Schulen zeigen auf, wie die Exponate konkret genutzt werden. Da wären zunächst Physikkurse zu nennen, die die Ausstellung in der Unterrichtszeit besuchen. Sie verbringen dort typischerweise eine Doppelstunde, wobei die SchülerInnen sich in Gruppen auf die Exponate verteilen und weitgehend selbständig arbeiten. Zum Teil werden hinterher Ausarbeitungen oder Referate angefertigt. Manche Schulen öffnen die Ausstellung durchgehend, so dass interessierte SchülerInnen aller Klassen sie in Pausenzeiten besuchen können. Für UnterstufenschülerInnen sind die Erklärungsfilme i. a. zu anspruchsvoll, das relativistische Fahrrad wird aber mit Begeisterung ausprobiert. Bei älteren SchülerInnen gilt das größte Interesse dem schwieriger zu steuernden relativistischen Flugsimulator. Auch über ein nachmittägliches Angebot für die Öffentlichkeit (bekanntgemacht in der Tagespresse) und über eine abendliche Führung für Eltern wurde uns berichtet. Sehr positive Erfahrungen wurden damit gemacht, SchülerInnen der Ober-

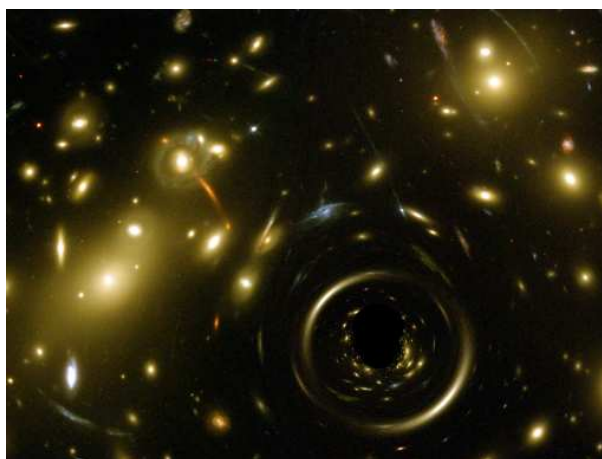


Abb. 2: In der Computersimulation wird ein Schwarzes Loch vor die Aufnahme eines Galaxienclusters gesetzt - das Hintergrundbild erscheint verzerrt. In der interaktiven Simulation kann das Schwarze Loch nach Belieben über das Bild geschoben werden. Hintergrundbild: Galaxienhaufen Abell 2218, Space Telescope Science Institute (STScI).

stufe aktiv und mitverantwortlich einzubeziehen, indem sie die Ausstellung durch eigene Schaukästen und Poster erweitern oder als Schülermentoren Aufbau und Aufsicht übernehmen und die Fragen jüngerer SchülerInnen beantworten.

Insgesamt haben wir aus den Schulen sehr positive Rückmeldungen erhalten. Die SchülerInnen sind durchwegs an der Ausstellung interessiert. Darüberhinaus kam auch ihr Interesse an weiterem Unterricht zu den Themen des Einsteinmobils zum Ausdruck.

5. Die Realisierung

Die Exponate entstanden an der Abteilung Theoretische Astrophysik der Universität Tübingen (H. Ruder, M. Borchers, U. Kraus, T. Müller, H.-P. Nollert, C. Zahn), wobei die Erklärungsfilme in Zusammenarbeit mit dem Historischen Museum Bern (P. Jezler, S. Schär) entwickelt wurden und das relativistische Fahrrad in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen (H. Bülthoff).

Träger des Projekts „Einsteinmobil“ ist der Verein Sternfreunde am Weilersbach e.V., Tübingen. Die fachliche und didaktische Betreuung liegt bei der Theoretischen Astrophysik (U. Kraus, M. Künle), die Organisation bei der Tübinger Firma Color-Physics GmbH (R. Kiss, I. Rica Mendez). Sponsoren (DaimlerChrysler AG, science+computing,

WE-Heraeus-Stiftung, Heindl Internet AG, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH) machen es möglich, dass die Wanderausstellung mit einer geringen Kostenbeteiligung der Schulen betrieben werden kann.

Literatur

- [1] U. Kraus, C. Zahn: Visualisierungen zur relativistischen Physik, www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de
- [2] Color-Physics GmbH, Tübingen: Einstein on Tour - Relativitätstheorie interaktiv verstehen, www.einsteinmobil.de
- [3] U. Kraus, M. Borchers: Fast lichtschnell durch die Stadt, Physik in unserer Zeit, Nr. 2/2005, S. 64-69
- [4] U. Kraus: Reiseziel: Schwarzes Loch – Didaktisches Material, Wissenschaft in die Schulen, www.wissenschaft-schulen.de (Links: Materialien, Astronomie), Oktober 2005
- [5] U. Kraus, C. Zahn: „Wir basteln ein Schwarzes Loch“ – Unterrichtsmaterialien zur Allgemeinen Relativitätstheorie, Praxis der Naturwissenschaften Physik, Heft 4/2005, S. 38-43