

# Modellieren ohne Mathematik mit Algodoo

Markus Zang, Thomas Wilhelm

## 1. Physikalische Modellbildung

In der Physik werden Phänomene oder Vorgänge beobachtet und dann ein vormathematisches Modell des Realitätsausschnittes erstellt [1]. Überlegt wird, welche Körper mit welchen Eigenschaften beteiligt sind und was die Anfangsbedingungen sind. Diese präparierte, idealisierte, modellierte Version der Wirklichkeit kann auch als physikalisches Modell beschrieben werden. Daraus wird in der Physik ein mathematisches Modell, das dann rein mathematisch behandelt werden kann und zu mathematischen Ergebnissen führt, die wiederum physikalisch interpretiert werden müssen. Passt das Ergebnis nicht zum beobachteten Vorgang, ist zu überlegen, ob schon das physikalische Modell falsch war oder ob es nur falsch mathematisch beschrieben wurde.

Will man mit den Schülern keine mathematische Modellbildung, aber eine physikalische Modellbildung machen, kann man einen Simulationsbaukasten verwenden. Man spricht dabei auch von virtuellen Welten. Diese Programme kennen die ganze Physik; der Nutzer muss nur die gewünschte Situation in einer zweidimensionalen Welt erstellen und charakteristische Größen festlegen, aber keine Gleichungen für physikalische Zusammenhänge eingeben.

Eines der ersten Programme dieser Art war „Interactive Physics“ [2-4], das aber nur für die Newton'sche Mechanik gedacht ist. Die in Deutschland bekannteste Software dieser Art ist Crocodile Physics, die große Verbreitung fand [5]. Das Nachfolgeprogramm von Crocodile Physics heißt „Yenka Physik“ [6]. Eine weitere Software dieser Art ist „Algodoo“ [7+8], das hier vorgestellt werden soll. Algodoo ist die kostenpflichtige Nachfolgerversion der Freewaresoftware „Phun“ [9], die im Jahre 2007 erschien.

Solche Simulationsbaukästen werden häufig verwendet, um vor dem Unterricht Simulationen fertig zu erstellen, mit denen im Unterricht gearbeitet werden kann. Will man das Modellieren betonen, beginnt man im Unterricht mit einer leeren Seite und überlegt, was in der Simulation drin sein soll. Dies kann im Klassengespräch gemeinsam an einem Rechner mit Hilfe eines Beamers bzw. an einem interaktiven Whiteboard geschehen oder auch in Gruppenarbeit an mehreren Rechnern.

## 2. Algodoo

Bei Algodoo muss man sich also Gedanken um das physikalische Modell machen, aber man kann auf das mathematische Modell verzichten. Es geht nur darum, sich zu überlegen, welche Körper mit welchen Eigenschaften wie zueinander in Beziehung stehen. Man bekommt sofort Rückmeldung, ob das physikalische Modell zum Phänomen passt, z.B. in der Form einer

Animation. Man kann dann verschiedene Eigenschaften ändern und das Ergebnis mit dem realen Phänomen vergleichen.

In Algodoo zeichnet man zunächst Objekte auf die Arbeitsfläche. Dazu stehen diverse Werkzeuge zur Verfügung, mit denen man zum einen geometrische Formen wie Rechtecke oder Kreise zeichnen kann, zum anderen beliebige Objekte frei Hand. Weitere Werkzeuge stehen bereit, um diese nachträglich zu bearbeiten und in die gewünschte Form zu bringen. Anschließend kann man von den erschaffenen Objekten die physikalischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Dichte, Masse, Reibung, Stoßelastizität und Anziehungskraft verändern oder ein vorgefertigtes Material auswählen. Algodoo besitzt weitere Werkzeuge, mit denen man Federn, Seile, Achsen, Motore oder Düsen an den Objekten anbringen kann. So lassen sich diese auf vielfältige Art miteinander verknüpfen.

Während der Erstellung ist die Simulation für gewöhnlich pausiert. Startet man sie, beginnt die Gewichtskraft auf sämtliche Objekte zu wirken und deren Verhalten wird nun physikalisch simuliert. Algodoo berücksichtigt hierbei eine Vielzahl von Faktoren. Neben der Gravitation wird auch Luftreibung, Gleitreibung, Elastizität usw. berücksichtigt, was sich aber auch nach Belieben abstellen lässt. So sind auch reibungsfreie Experimente ohne Gravitation möglich. Algodoo erlaubt es hier sehr detailliert auf die einzelnen Faktoren einzugehen.

Neben dem Kern von Algodoo, der Simulation von mechanischen Vorgängen, gibt es seit dem Update auf Version 2 auch optische Einsatzmöglichkeiten. Man kann die Lichtdurchlässigkeit von Körpern einstellen und einzelne Laser platzieren, die einen idealen Lichtstrahl aussenden. Abhängig von der Brechzahl des Körpers wird der Strahl beim Eintritt und Austritt gebrochen [10]. So lassen sich Linsen und auch ganze Linsensysteme erstellen oder man greift auf ein vorgefertigtes Set von Linsen zurück.

Die Erstellung eines solchen Experiments entspricht der Entwicklung eines physikalischen Modells. Der Nutzer überlegt sich, welche Objekte beteiligt sind und welche Eigenschaften diese besitzen. Er beeinflusst die verschiedenen Faktoren und deaktiviert solche, die nicht in das Modell passen. Algodoo übernimmt schließlich die Simulation. Das mathematische Modell, welches dahinter steckt, ist komplett ausgeblendet, um sich auf das physikalische zu konzentrieren.

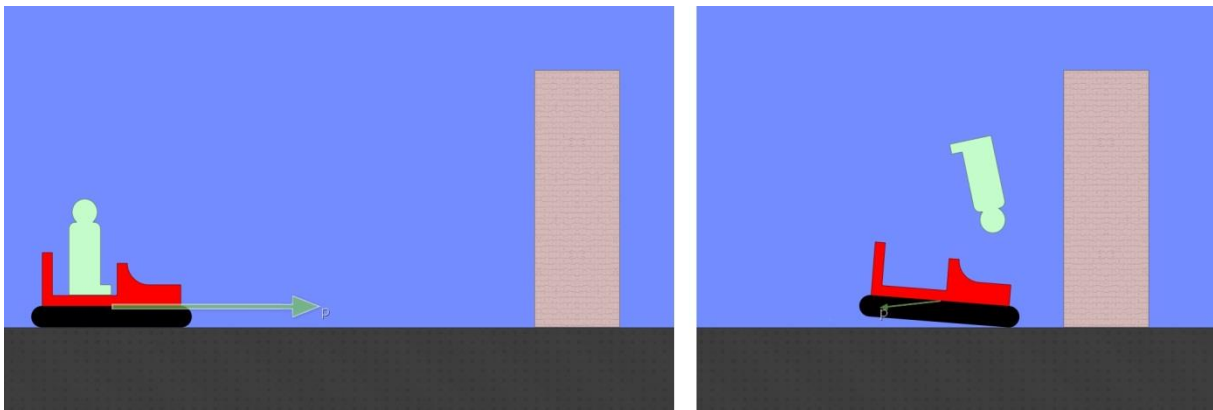
Die Bewegung der Körper kann mit Algodoo noch genauer als nur durch Beobachten der Animation untersucht werden. Es ist möglich verschiedene vektorielle Größen wie Kraft, Geschwindigkeit und Impuls anzeigen zu lassen. So kann zum Beispiel sehr einfach der Unterschied zwischen Bewegungs- und Kraftrichtung verdeutlicht werden, welche die Schüler oft gleichsetzen. Auch Graphen können angezeigt werden. Dabei ist es möglich, verschiedene Werte, wie auch Energien, Geschwindigkeitsbetrag, Ort, Winkelgeschwindigkeit und Drehimpuls anzeigen zu lassen.

### 3. Beispiele

#### 3.1 Autoskooter an die Wand

Häufig werden wohl mit Algodoo von Experten vor dem Unterricht Simulationen erstellt. Mit diesen fertigen Simulationen kann dann im Unterricht gearbeitet werden. Es ist aber auch möglich, die Situation erst im Unterricht zu erstellen, also zu modellieren. Ein Beispiel ist ein Autoskooter mit Fahrer, der an eine Wand fährt.

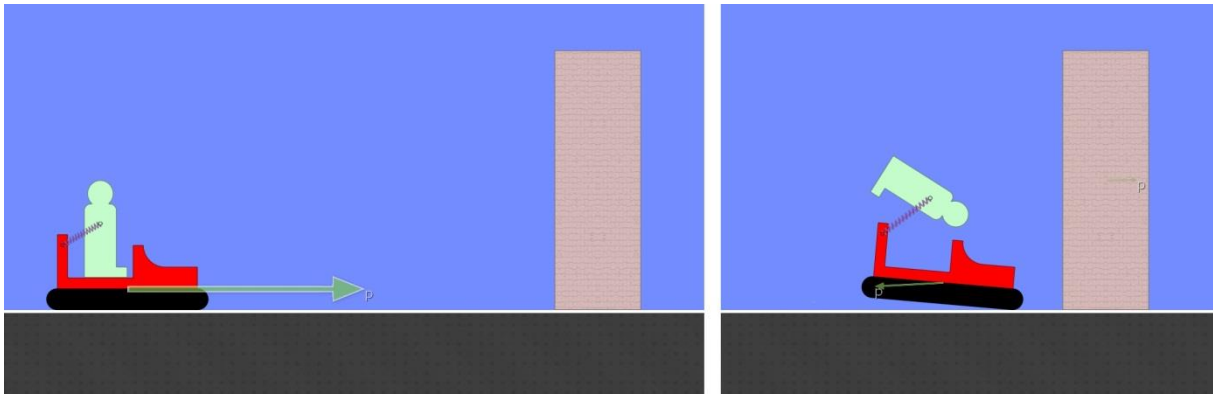
Um schnell zu einem Ergebnis zu kommen, wird frei Hand ein Autoskooter und ein darin sitzendes Männchen gemalt. Beide bekommen die gleiche horizontale Geschwindigkeit. Als Wand wird ein Rechteck aufgezo-gen und eine große Masse angegeben. Beim Ablauf (siehe Abb. 1) wird das Männchen beim Aufprall aus dem Autoskooter geschleudert, das erste Newton'sche Gesetz wird deutlich gemacht. Man sieht aber auch Rotationsbewegungen von Autoskooter und Männchen, an die man vorher wahrscheinlich nicht gedacht hat.



**Abb. 1: Autoskooter mit nicht angeschnalltem Fahrer fährt wider eine Wand**

Hat die Wand eine zu kleine Masse bekommen, wird sie weiter geschoben und wackelt. Das physikalische Modell entspricht hier nicht dem Erwarteten und muss geändert werden. Es treten also Probleme auf, die in einer vorgefertigten Simulation nicht vorkommen würden. Die Schüler sehen, wie in einem Modellkreislauf das Modell immer weiter der Realität angepasst wird.

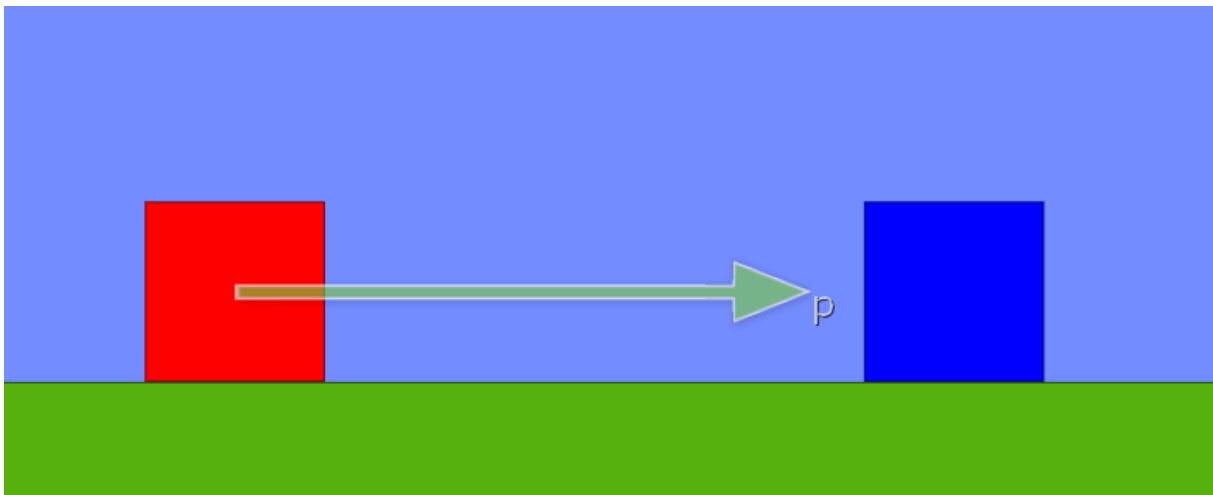
Als Zweites könnte eine Feder als Sicherheitsgurt am Männchen befestigt werden. Dies führt allerdings bei kleiner Federhärte und kleiner Dämpfung dazu, dass das Männchen nach dem Stoß nach hinten aus dem Fahrzeug geschleudert wird (siehe Abb. 2). So können die Schüler erkennen, dass eine Hooke'sche Feder nicht geeignet ist und eine Kopfstütze wichtig ist. Wird die Rückwand des Autoskooters hoch genug gezogen, bleibt das Männchen beim Stoß wenigstens im Fahrzeug.



**Abb. 2: Fahrer im Autoskooter ist mit Feder angeschnallt**

### 3.2 Stöße

Natürlich können auch die idealisierten Situationen, die im Physikunterricht eine große Rolle spielen, mit Algodoo betrachtet werden. So können Schüler sämtliche Arten von Stößen eigenständig untersuchen. Je nach Einstellung der Elastizität sind vollelastische oder unelastische Stöße möglich. Mit wenigen Klicks kann ein einfaches Stoß-Szenario wie in Abbildung 3 erstellt werden. Auf der vorgefertigten Ebene werden zwei gleich große Quadrate erstellt und bei allen drei Objekten (auch der Ebene) die Reibung auf 0 und die Stoßelastizität auf 1 gestellt. Außerdem werden noch Geschwindigkeiten eingestellt. Schon hat der Schüler einen vollelastischen Stoß mit gleichen Massen erstellt. Über das Darstellungsmenü kann man noch zusätzlich Geschwindigkeits- oder Impulsvektoren anzeigen lassen.



**Abb. 3: Stoß zweier Körper**

Den Schülern können dann Arbeitsaufträge gegeben werden, bei denen sie für verschiedene Situationen die Geschwindigkeiten nach dem Stoß ermitteln müssen. Dabei kann der zweite Körper die gleiche oder die doppelte Masse wie der erste haben oder eine unendlich große Masse. Der zweite Körper kann in Ruhe sein oder sich auf den ersten zubewegen.

Die Geschwindigkeiten nach dem Stoß können über je einen Graphen betrachtet werden. Leider ist es in Algodoos nicht möglich, die Geschwindigkeitsgraphen für zwei Körper gleichzeitig in ein Diagramm einzeichnen zu lassen. Alternativ kann man die Geschwindigkeiten nach dem Stoß auch im Geschwindigkeitsmenü ablesen.

Ändert man die Elastizität der Körper auf einen Wert zwischen 0 und 1, lassen sich auch elastische Stöße untersuchen. Um dezentrale Stöße zu betrachten, bietet sich eine Betrachtung von oben an. Dazu deaktiviert man die Gravitation und löscht die feste Ebene. Die Körper schweben nun durch den Raum wie Pucks auf einem Luftkissentisch. Stoßen sie zusammen, gilt für jede Koordinatenrichtung Impulserhaltung.

Stellt man bei den Materialien der Pucks eine Reibung ein, hat man beim Stoß eine Reibung, aber keine Reibung mit einer Unterlage, wie es bei einem Luftkissentisch der Fall ist. Die Reibung führt dazu, dass während dem Stoß auf die beiden Pucks gegengleiche Tangentialkräfte wirken. Dadurch rotieren die Pucks nach dem Stoß mit gleichem Drehsinn (in Abb. 4 gegen den Uhrzeigersinn), was man vorher nicht unbedingt erwartet hat.

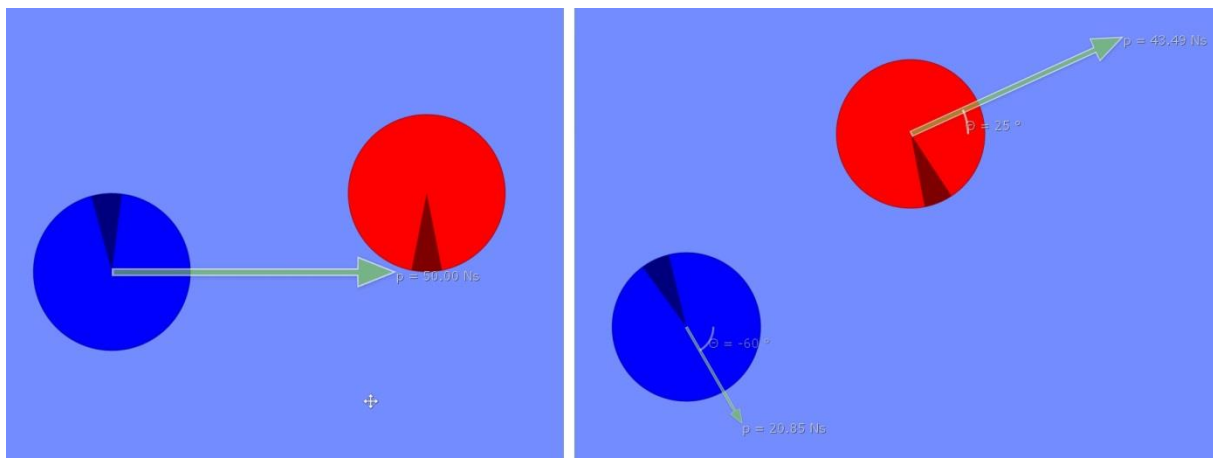


Abb. 4: Dezentraler Stoß zweier Luftkissenpucks

### 3.3 Schiefer Wurf

Beim schiefen Wurf können Schüler beispielsweise folgenden Arbeitsauftrag bekommen: „Unter welchem Winkel fliegt beim schiefen Wurf ein Körper am weitesten? Benutze einen Graphen, um deine Vermutung zu bestätigen“.

Zunächst wird ein Körper erstellt, der auf der Ebene ruht. Anschließend wird diesem Körper eine Geschwindigkeit gegeben. Im Geschwindigkeitsmenü (siehe Abb. 5) kann man den Winkel zur Horizontalen und unter dem Begriff „Schnelligkeit“ der Betrag der Geschwin-

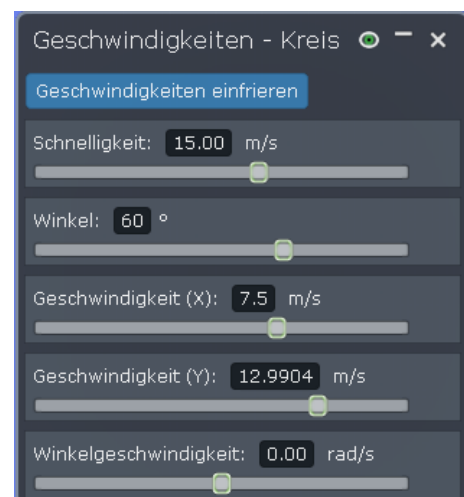


Abb. 5: Menü zum Einstellen der Geschwindigkeit.

digkeit einstellen. Die x- und y-Komponente wird hierbei automatisch angepasst. Die klare Unterscheidung zwischen Schnelligkeit und Geschwindigkeitskomponenten ist hier besonders vorbildlich. Startet man die Simulation, wird der Körper geworfen.

Zu überlegen ist, ob die Bewegung mit oder ohne Luftreibung betrachtet werden soll. Gegebenenfalls kann sie leicht abgeschaltet werden. Bei großem Tempo führt dies nämlich zu anderen Ergebnissen, bei geringem Tempo ist kein Unterschied zu sehen.

Um die Reichweite des Wurfes abzulesen und mit anderen Wüfen vergleichen zu können, muss ein Graph des Körpers angezeigt werden. Standardmäßig ist bei Graphen für die Rechtsachse die Zeit eingestellt, was in diesem Fall nicht viel nützt. Die Schüler müssen den Graphen auf einen x-y-Graphen umstellen. Nach dem Wurf kann der Körper wieder zurückgesetzt werden und mit anderen Startwerten versehen werden. Der Graph bleibt aber erhalten, wodurch man die einzelnen Würfe leicht miteinander vergleichen kann (siehe Abb. 6). Dabei ist darauf zu achten, dass der Geschwindigkeitsbetrag stets gleich bleibt und nur der Winkel verändert wird. Mit dieser Simulation kann also der schiefen Wurf und einige Eigenschaften ohne mathematische Gleichungen behandelt werden.

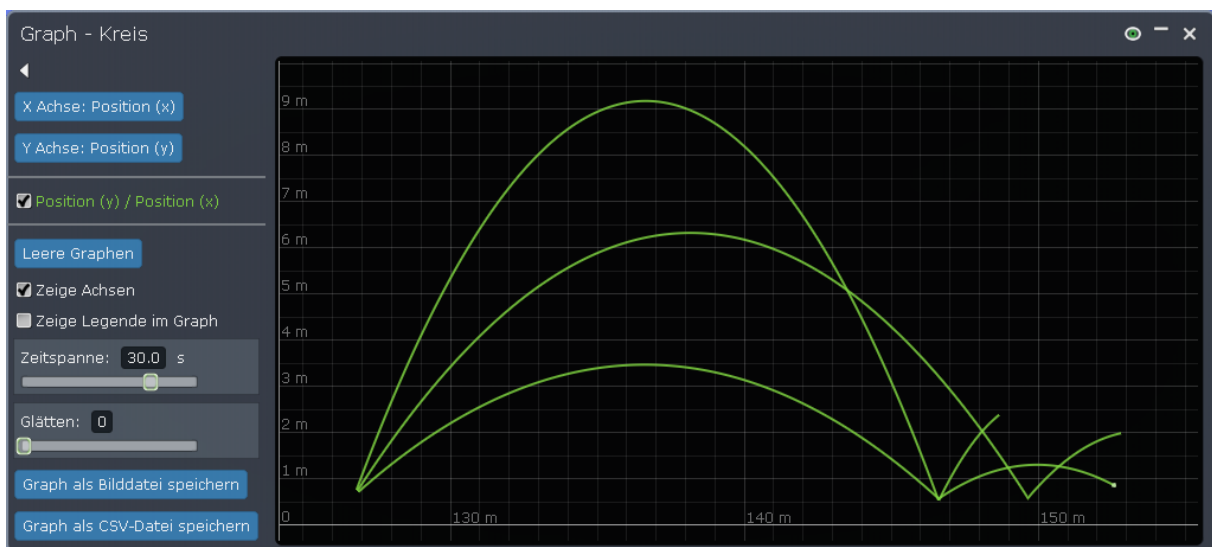


Abb. 6: x-y-Graphen zum schrägen Wurf

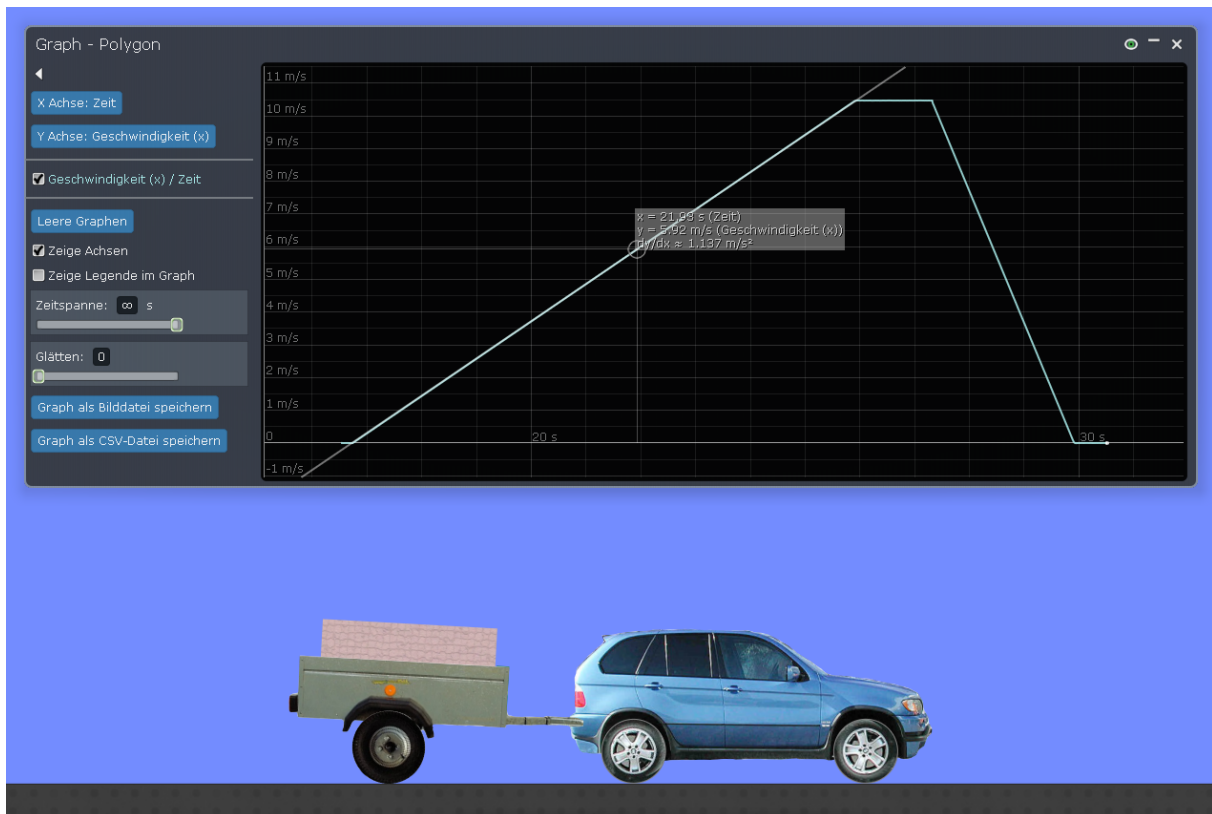
### 3.4 Geradlinige beschleunigte Bewegung

Algodoo bietet neben der Möglichkeit, Simulationen fertig vorzubereiten, auch die Möglichkeit, einzelne Objekte vorzubereiten und abzuspeichern. Diese sogenannten Komponenten können beliebig komplexe Gebilde sein, die man einfach aus einer Sammlung auf die Arbeitsfläche zieht.

Im folgenden Beispiel wurden drei Objekte vorbereitet, da deren Erstellung durch die Schüler zu lange dauern würde und dies keinen Nutzen hätte. Es handelt sich zum einen um ein Fahrzeug, wofür ein Körper entsprechend zugeschnitten und mit einer Textur versehen wurde.

Zwei Reifen wurden durch Achsen mit der Karosserie verbunden. Den Achsen wurden Drehmomente per Tastendruck zugewiesen, so dass das Fahrzeug mit der „nach links“-Pfeiltaste nach links beschleunigt, mit der „nach rechts“-Pfeiltaste nach rechts beschleunigt und mit der Pfeiltaste nach unten abbrems. Ebenso wurde ein Anhänger erstellt und ein Massestück als Ladung.

Mit einem Graphen kann die Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung (oder die Ortskomponente in x-Richtung) angezeigt werden. Den Schülern können nun außerhalb der Software unterschiedliche Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme vorgegeben werden, in denen die Geschwindigkeitskomponente positiv oder negativ ist, steigt, fällt oder konstant ist. Sie müssen sich dann vorher überlegen, wie sie die Beschleunigung per Tastendruck vorgeben müssen, um ein entsprechendes Diagramm zu erhalten (siehe Abb. 7). Noch viel schwieriger ist es, ein vorgegebenes Zeit-Orts-Diagramme nachzufahren.



**Abb. 7: Simulation zur geradlinig beschleunigten Bewegung**

Will man nur mit der fertigen Simulation arbeiten, kann auch der Einfluss der Masse auf die Beschleunigung untersucht werden. Die Steigung der Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung und damit die Beschleunigung kann mit Algodoo bequem mit der Maus abgelesen werden.

## 4. Fazit

Ein Simulationsbaukasten wie Algodoo bietet nicht nur die Möglichkeit, mit fertigen Simulationen zu arbeiten, sondern auch die Möglichkeit, selbst ein physikalisches Modell einer Situation zu erstellen. In beiden Fällen können physikalische Phänomene betrachtet und Zusammenhänge analysiert werden, ohne selbst etwas berechnen zu müssen. Dabei sind auch quantitative Aussagen möglich, denn die physikalischen Größen können als Zahlenwerte oder als Pfeile oder Graphen angezeigt werden.

### Literatur:

- [1] O. Krey, Didaktische Aspekte des Umgangs mit Mathematik im Physikunterricht, in: Physik in der Schule 62, Nr. 2, 2013, in diesem Heft
- [2] <http://www.design-simulation.com/IP/index.php>
- [3] L. Wolter, Einsatz von „Interactive Physics“ in der Lehre der Physik, in: Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung 1997, 1998
- [4] L. Wolter, Der Simulationsbaukasten "Interactive Physics". Einsatz in der Lehre der Physik, München: Herbert Utz Verlag (1998)
- [5] T. Wilhelm & T. Trefzger, Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrer, in: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Hannover 2010, [www.phydid.de](http://www.phydid.de)
- [6] <http://www.yenka.com/de/Home>
- [7] <http://www.algodoo.com>
- [8] M. Zang, Der Simulationsbaukasten Algodoo - Beschreibung und Beispiele, Staatsexamensarbeit Universität Würzburg, <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/algodoo.htm>, 2012
- [9] <http://www.algodoo.com/wiki/Download> unter „Old Version“
- [10] T. Wilhelm & M. Zang, Das Glitzern der Brillanten, in: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 60, Nr. 8, 2011, S. 12 – 17

### Download:

Die hier verwendeten Simulationen sind als Online-Ergänzung auf der Webseite der Zeitschrift downloadbar unter.

### Anschrift der Verfasser:

Markus Zang, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg

Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main, [wilhelm@physik.uni-frankfurt.de](mailto:wilhelm@physik.uni-frankfurt.de), [www.thomas-wilhelm.net](http://www.thomas-wilhelm.net)