

## Inhaltsverzeichnis

<b>CAD in der Physik – Kinematik</b>	<b>2</b>
Allgemeines . . . . .	2
Überlagerung von Bewegungen mit dem Kinematikmodul von MegaCAD . . . . .	2
Aufgabenvorschläge . . . . .	11

# CAD in der Physik – Kinematik

*In der Ausgabe 41 vom April 2008 berichteten wir über den Einsatz von CAD-Programmen zur Veranschaulichung des Physik-Unterrichts und in der Ausgabe 35 vom Mai 2006 war ein Einführung in das Kinematikmodul von MegaCAD enthalten. In dieser Ausgabe zeigen wir weitere Beispiele für CAD-Anwendungen in der Physik, sowohl zum Visualisieren mit dem Kinematikmodul als auch zum grafischen Differenzieren und Integrieren. Selbstverständlich können diese Beispiele auch mit anderen entsprechend ausgestatteten Programmen nachvollzogen werden.*

## Allgemeines

Im ersten Artikel werden einige Beispiele für die Anwendung eines Kinematikmoduls zur Veranschaulichung von Bewegungsvorgängen oder zum Einsatz im Laborunterricht exemplarisch beschrieben. Im Anschluss daran folgen insgesamt vier Originalarbeitsblätter von Herrn Dr. Pfléghar aus Wangen im Allgäu zu den Themen grafisches Integrieren und Differenzieren an Beispielen aus der Physik.

## Überlagerung von Bewegungen mit dem Kinematikmodul von MegaCAD

Das Prinzip der ungestörten Überlagerung verschiedener Bewegungen kann in MegaCAD relativ einfach verwirklicht werden, da sich praktisch beliebig viele gleichzeitig ablaufende Bewegungen definieren lassen.

Auch einem einzelnen Körper können verschiedene und verschiedenartige Bewegungen zugeordnet werden, wie z. B. eine Rotations- und eine Translationsbewegung oder eine geradlinig gleichförmige Bewegung in x-Richtung und eine gleichzeitige Fallbewegung in (minus) y-Richtung.

Auch eine Beschleunigung mit Anfangsgeschwindigkeit kann leicht dargestellt werden, indem ein Körper eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und gleichzeitig eine beschleunigte Bewegung ausführt.

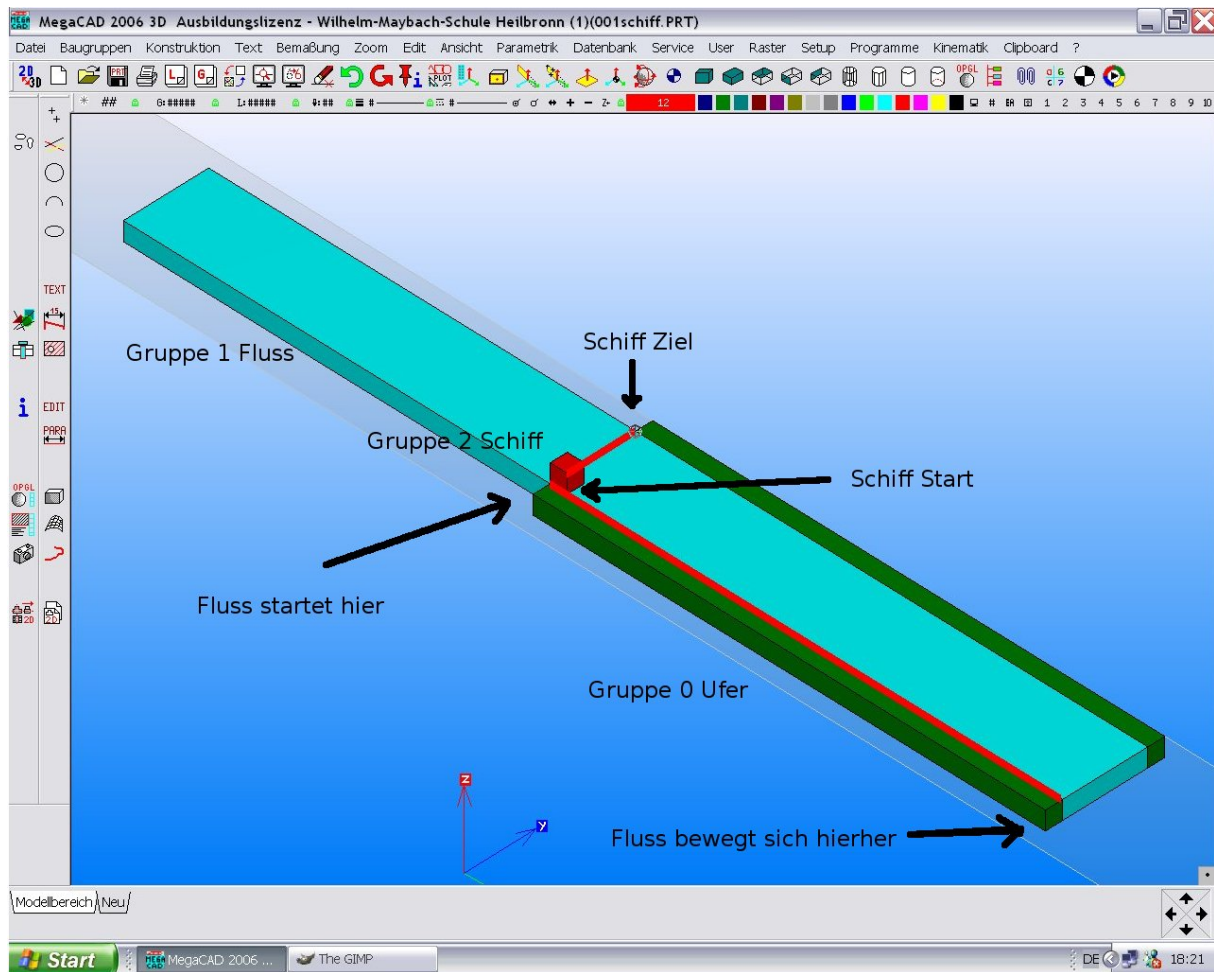
Nachfolgend als Beispiele die Visualisierung einer Flussüberquerung, eines waagrechten Wurfs sowie einer Schwingung und ihre Fortpflanzung als Welle.

## Flußüberquerung

Am einfachsten dürfte die Überlagerung zweier, im rechten Winkel zueinander erfolgenden, geradlinig gleichförmiger Bewegungen darzustellen sein. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

1. Gestaltung der Szene mit Ufer, Fluss und Schiff.
2. Zuordnung der Elemente zu verschiedenen Gruppen.
3. Aufruf des Kinematikmoduls.
4. Definition der Verbindungen zwischen Ufer und Fluss sowie zwischen Fluss und Schiff einschließlich der notwendigen „Antriebe“. (Siehe auch ZPG-Mitteilungen Nr. 35 vom Mai 2006 unter [Kinematik mit MegaCAD](#))
5. Testen der Verbindungen

Anbei als Beispielszene die Flussüberquerung eines (als Quader idealisierten) Schiffs:



### Erstellen der Animation.

Nach der Konstruktion von Fluss, Ufer und Schiffchen (hier vereinfacht als Quader dargestellt) müssen die einzelnen Bauteile noch verschiedenen Gruppen zugeordnet werden.

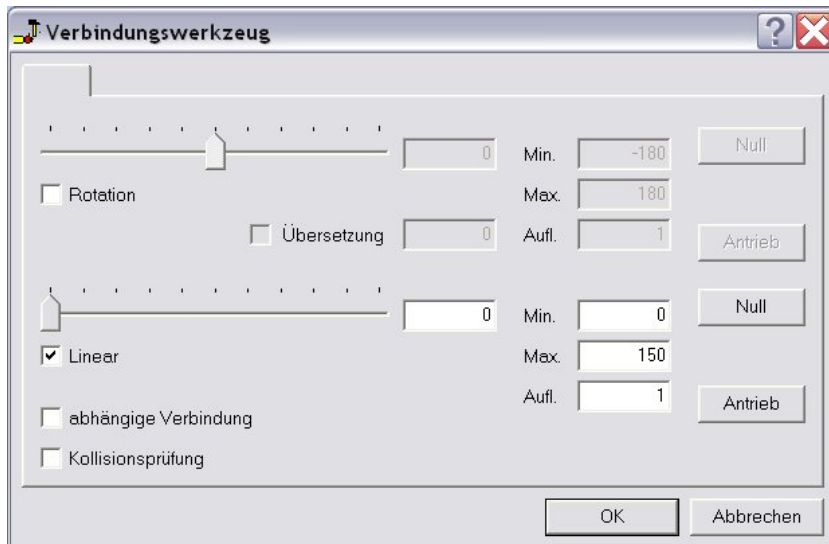
Die sich bewegenden Teile müssen in einer anderen Gruppe sein als die, zu denen sie sich relativ bewegen. Eine Welle muss z. B. in einer anderen Gruppe sein als das Lager oder ein Werkzeugschlitten in einer anderen als die Gleitschiene usw.

Hier wird das Ufer der Gruppe 0 zugeordnet und der Fluss, der sich relativ dazu bewegt der Gruppe 1. Das Schiff wiederum bewegt sich relativ zum Fluss und kommt in Gruppe 2.

Nach der Zuordnung zu den Gruppen wird das Kinematikmodul aufgerufen und die erste „Verbindung“ definiert. „Verbindung“ bedeutet hier eher die Verknüpfung eines sich bewegenden Teils mit dessen ortsfester Bahn oder dessen Lager, wobei zunächst die ortsfeste Bahn (1. Gruppe) und anschließend das bewegliche Teil (2. Gruppe) angeklickt wird.

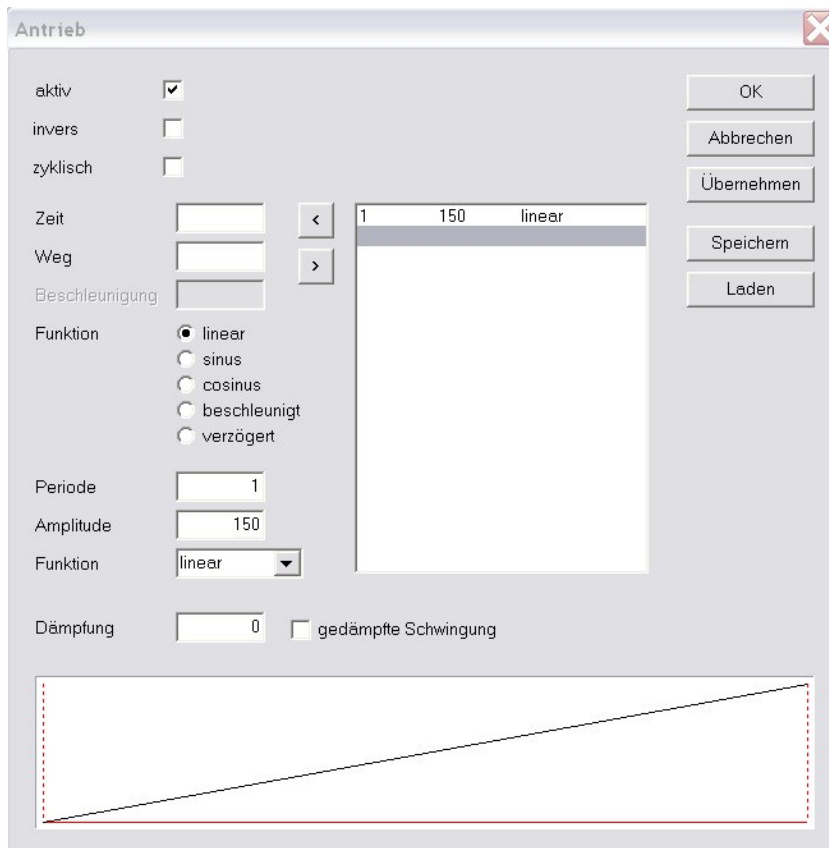
Im Anschluss werden dann nacheinander zwei Punkte (1. Punkt, 2. Punkt) abgefragt, die Anfangs- und Endpunkt einer Translationsbewegung bzw. die Achse einer Rotationsbewegung bedeuten.

Die erste Verbindung besteht aus der Gruppe 0 Ufer, der Gruppe 1 Fluss sowie einem Startpunkt und einem Endpunkt z. B. am rechten Ufer.



Nach dem Anklicken der Gruppen und der Bahnpunkte öffnet sich das Fenster Verbindungswerkzeug, in dem das Häkchen bei Rotation entfernt werden muss.

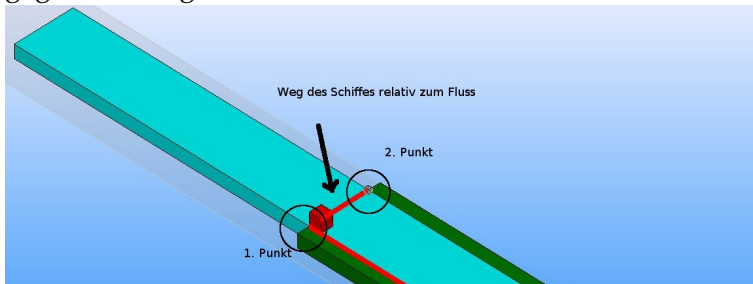
Anschließend wird der Schalter Antrieb angeklickt, um dem Fluss den nötigen Schub zu verleihen.



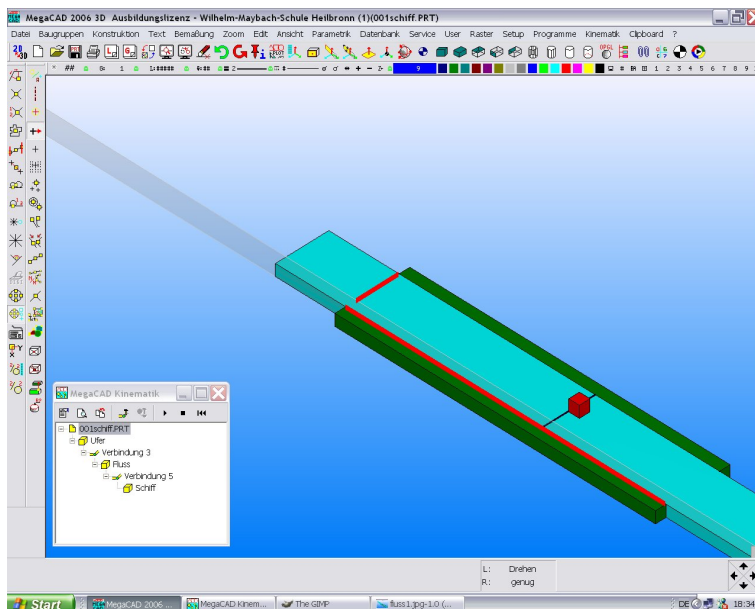
In diesem Fenster wird die Bewegung beschrieben. Am einfachsten wählt man im unteren Bereich die Funktion linear, was eine gleichförmige Bewegung über die gesamte Bahnlänge (hier 150 = Uferlänge) in einer Zeiteinheit (Periode 1) bedeutet. Das Häkchen bei „zyklisch“ sollte weg geklickt werden, da sonst der Fluss hinter dem rechten Bildschirmrand verschwindet.

Bestätigen Sie nun mit Ok und testen Sie die erste Verbindung durch Aufrufen der Animation (2. Symbol von unten) im Kinematikmodul (Pfeiltaste im Fenster drücken). Sollte noch irgend ein Fehler auftauchen, kann eine Verbindung durch Doppelklick in der Baumstruktur nachträglich editiert werden.

Nach einem positiven Verlauf des Tests der ersten Verbindung kann nun analog dazu die zweite Verbindung „Schiff – Fluss“ definiert werden. Erst Fluss, dann Schiff, dann zwei gegenüber liegende Punkte anklicken.

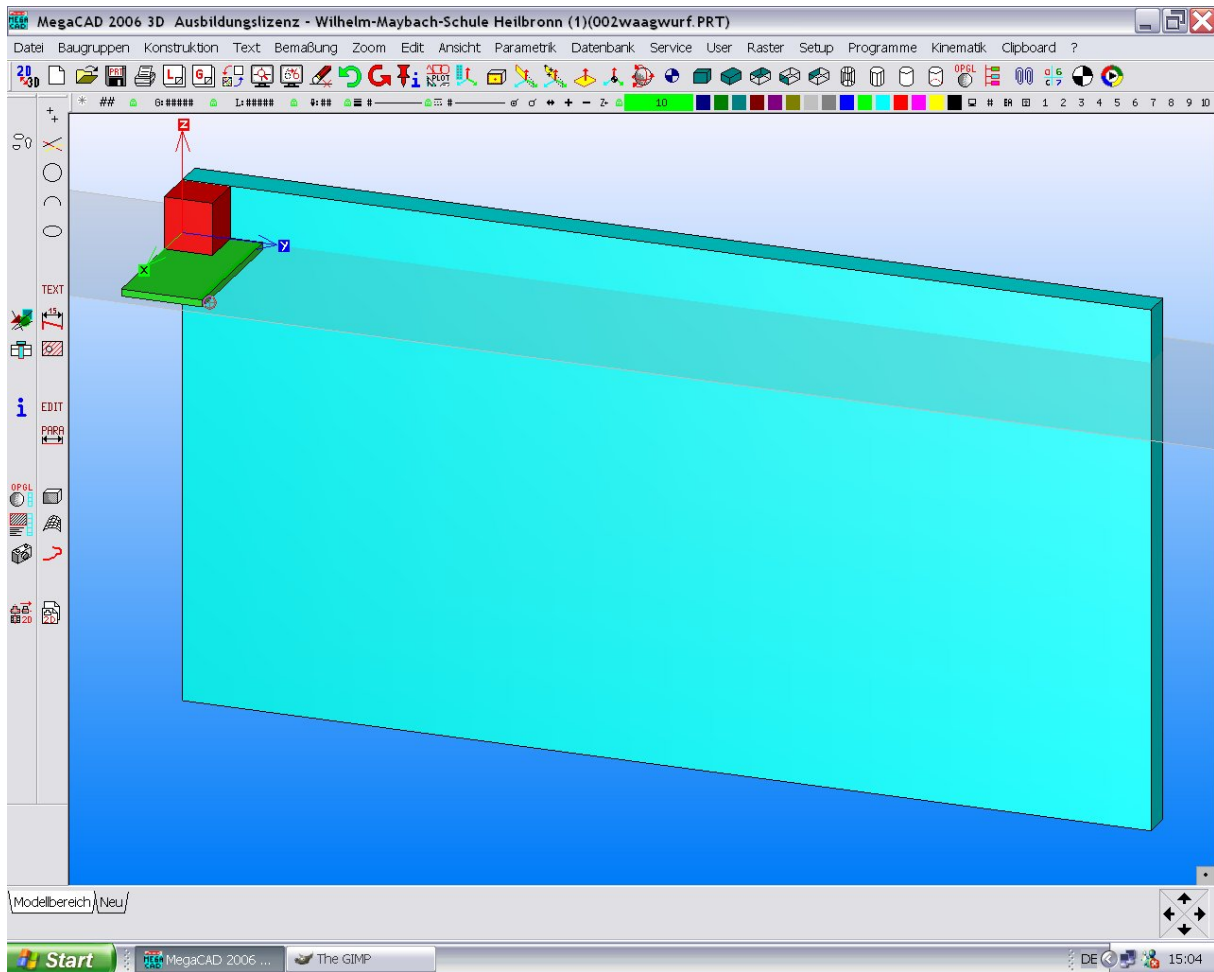


Zunächst können auch bei dieser Verbindung die Vorgaben bei der linearen Funktion übernommen werden (Periode 1, Flussbreite). Nun kann nach Aufruf der Animation die kombinierte Bewegung aufgerufen und überprüft werden. Da die Bewegungen ziemlich schnell verlaufen (ca. in 1 Sekunde) ist es ratsam, die Zeiten nachträglich z. B. auf 10 s abzuändern. Dazu öffnen Sie wiederum das Verbindungsfenster durch Doppelklick auf die Verbindung in der Baumstruktur.



Mit (zugegebenermaßen) etwas Glück ergibt sich als Ergebnis eine diagonale Bewegung des „Schiffs“ über den Fluss, bei unveränderten Zeiten allerdings mit einer unrealistisch hohen Geschwindigkeit. Die Anpassung der Zeiten und damit der Geschwindigkeiten an realistische Verhältnisse kann als lehrreiche Aufgabe den Schülerinnen und Schülern überlassen werden.

## Waagrechter und schiefer Wurf



In ähnlicher Weise kann auch der waagrechte oder auch der schiefe Wurf als Überlagerung einer beschleunigten Fallbewegung und einer linearen Translationbewegung visualisiert werden. Als ortsfeste Basis kann hier z. B. eine hohe dünne Wand gewählt werden (Im Beispiel  $h=150$ ,  $l=300$ ,  $d=10$ ), an deren oberer linken Ecke ein Gegenstand mit einer Anfangsgeschwindigkeit nach rechts abgeworfen wird.

Gleichzeitig führt der Körper auch eine (beschleunigte) Fallbewegung nach unten aus.

Definition der einzelnen Bewegungen:

1. Waagrechte Bewegung: Wie vorher beim Fluss, Funktion „linear“ auswählen, Werte zunächst belassen.
2. Senkrechte Fallbewegung: Zunächst im Fenster für den Antrieb im oberen Bereich „beschleunigt“ ankreuzen, dann z. B. „9.81“ ins Beschleunigungsfeld eingeben. Anschließend darüber die Fallhöhe, hier „150“ eintragen und ohne Angabe der Fallzeit Pfeil nach rechts anklicken (obere Abbildung nächste Seite).

**Antrieb**

aktiv

invers

zyklisch

Zeit  <

Weg  >

Beschleunigung

Funktion

linear

sinus

cosinus

beschleunigt

verzögert

Periode

Amplitude

Funktion

Dämpfung   gedämpfte Schwingung

Die Zeit wird berechnet und mit den anderen Werten in das rechte Fenster übernommen.

Im unteren Bereich wird nun auch das Weg-Zeit-Diagramm der Fallbewegung abgebildet.

**Antrieb** ✖

aktiv

invers

zyklisch

Zeit  < 5.530013 150 beschl.

Weg  >

Beschleunigung

Funktion

linear

sinus

cosinus

beschleunigt

verzögert

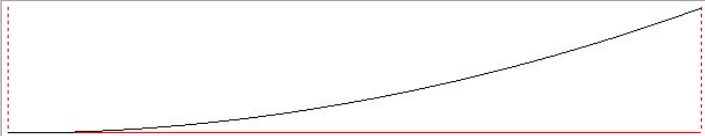
Periode

Amplitude

Funktion

Dämpfung   gedämpfte Schwingung

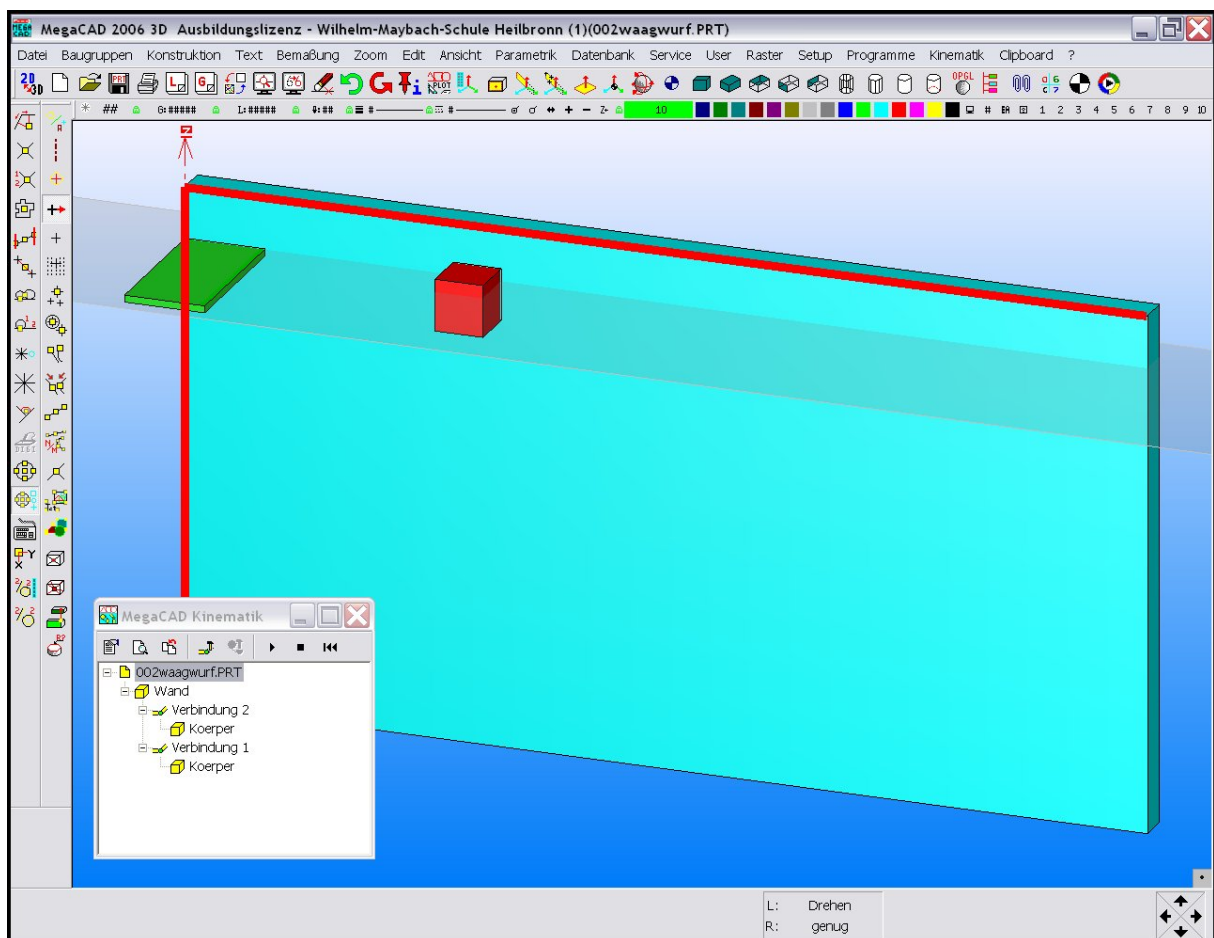
OK  
Abbrechen  
Übernehmen  
Speichern  
Laden



Bei richtiger Eingabe sollte es sich um eine Parabel handeln. Vielleicht ist Ihnen aufgefallen, dass die berechnete Fallzeit wesentlich länger ist als die bei der waagrechten Bewegung automatisch gewählte Zeit 1 (Periode). Trotzdem kann die Anordnung zunächst getestet werden.

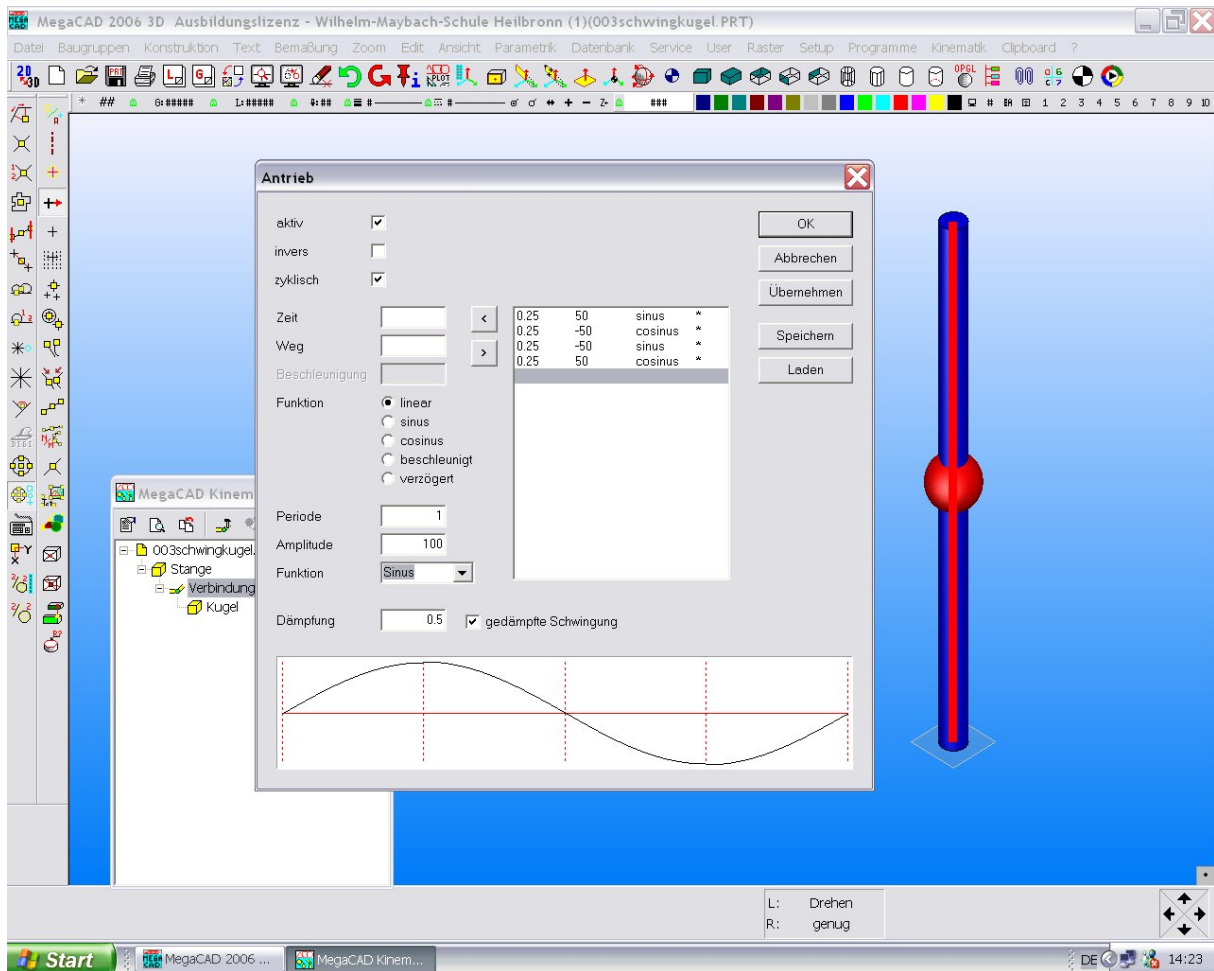
Beim Test fällt auf, dass der Körper langsam fallend sehr schnell nach rechts flitzt und anschließend am rechten Rand der Wand vollends herunterfällt. Das ist natürlich ein Schönheitsfehler, der durch Editieren der Zeit für die waagrechte Bewegung behoben werden kann.

Wenn die in Punkt 2. ermittelte Fallzeit (hier 5,5 s) für die Zeit in der ersten Verbindung eingegeben wird, landet der Körper genau rechts unten.



## Schwingungen und Wellen

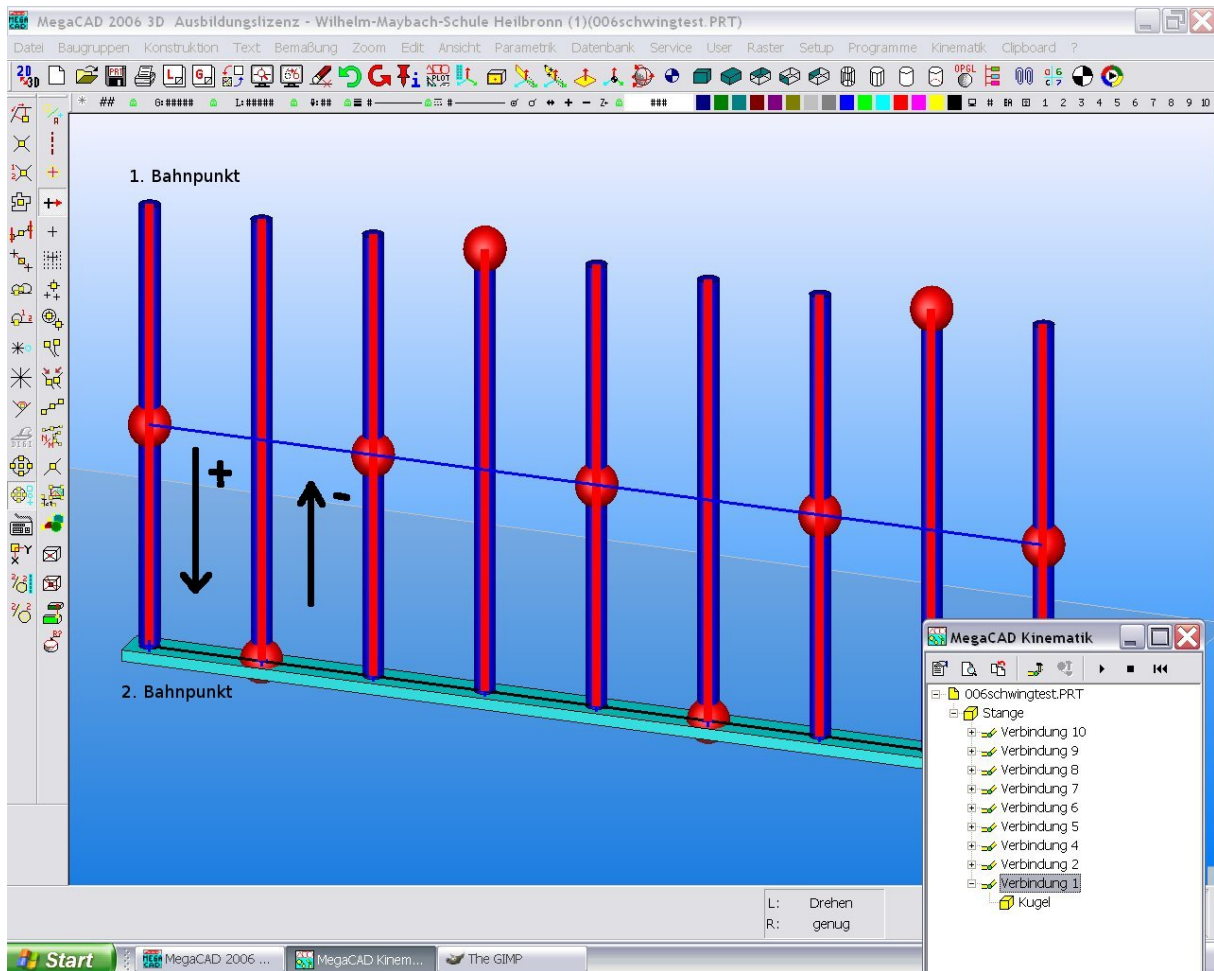
Um eine harmonische Schwingung darzustellen genügt es, einem Körper statt einer linearen Bewegungsfunktion eine Sinusschwingung (im unteren Bereich des Antriebsfensters bei Funktion) zuzuordnen. Bei der Definition der zwei Bahnpunkte der Bewegung muss sowohl der obere als auch der untere Umkehrpunkt angegeben werden. Der Körper selbst muss sich in der Ruheposition in der Mitte zwischen den Extrema befinden.



In diesem Beispiel soll eine kleine Kugel senkrecht an einem Stab (statt zwischen zwei Federn) harmonisch um die Mittellage schwingen. Als erster Bahnpunkt wurde das obere, als zweiter Punkt das untere Ende ausgewählt.

Überraschenderweise trägt MegaCAD bei der Angabe der Sinusfunktion nicht *eine* sondern gleich vier Winkelfunktionen mit jeweils einer Viertelperiode in das Fenster ein. Das rührt daher, dass das Programm bei den Winkelfunktionen nur das erste Viertel ( $90^\circ$ ) einer Periode animieren kann. Das zweite Viertel ist dann eine Cosinusfunktion in Minusrichtung, dann kommt eine Sinusfunktion ebenfalls in Minusrichtung und abgeschlossen wird die Periode durch eine Cosinusfunktion wieder in Plusrichtung. Merkhilfe:

Um mehrere (um  $90^\circ$ ) phasenverschobene Schwingungen zur Darstellung einer Welle aufzuzeigen, kann die Anordnung mehrfach kopiert und für jede Kopie eine separate Schwingung eingegeben werden. Leider sind nur Phasenverschiebungen von  $90^\circ$  auf einfache Art möglich.



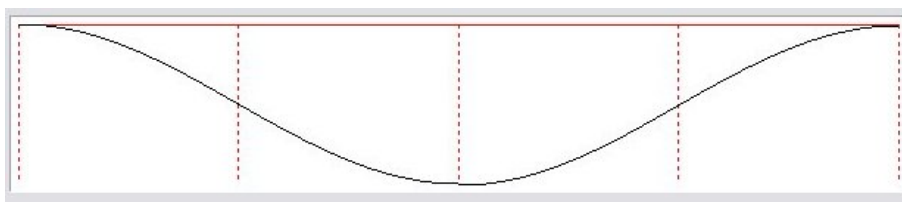
1	-50	cosinus	*
1	-50	sinus	*
1	50	cosinus	*
1	50	sinus	*

Will man statt der Sinus- eine Cosinusfunktion eingeben (Start mit Steigung 0), muss das erste Viertel als Cosinus eingegeben werden, das zweite als Sinus in der gleichen Richtung usw.. Start ist natürlich an einem der beiden Umkehrpunkte.

Beachten Sie bitte, dass die Wege in der Tabelle (hier  $\pm 50$ ) jeweils vom Endpunkt der vor-

angegangenen Viertelperiode gemessen sind. Das Vorzeichen richtet sich danach, ob die Bewegung in oder entgegen der Bahnrichtung (von Punkt 1 nach 2 ist positiv) verläuft.

Das unten abgebildete Weg-Zeit-Diagramm (Cosinusfunktion) zeigt die Bewegung des zweiten Teilchens in der Anordnung. Entsprechend sind dann die folgenden Teilchen zu animieren. Hinweis: Damit nicht alle Bewegungen neu eingegeben werden müssen, können Bewegungsmuster auch abgespeichert und wieder geladen werden.



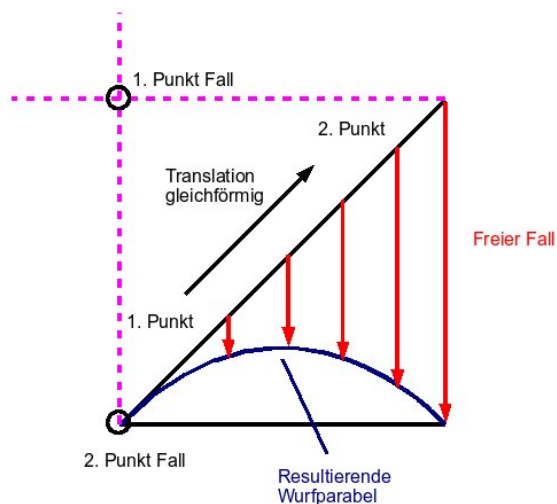
## Aufgabenvorschläge

### Überlagerte Translationsbewegungen

- Ankunftsort für verschiedene Fließ- und Schiffsgeschwindigkeiten berechnen und überprüfen.
- Fahrtrichtung des Schiffs so ermitteln, dass es genau gegenüber ankommt und in der Animation testen.

### Freier Fall, Waagrechter und schiefer Wurf

- Gegenüberstellung: Fall auf der Erde, auf dem Mond und auf dem Mars.
- Abwurfgeschwindigkeiten für verschiedene Wurfweiten ermitteln, Werte einstellen und überprüfen.
- Wurfweiten bei verschiedenen Geschwindigkeiten ermitteln, Parameter einstellen und überprüfen.
- Abwurfhöhen bei gegebenem Auftreffpunkt ermitteln.
- Erweiterung der Versuche auf den schiefen Wurf (Translation verläuft schräg nach oben oder unten). Parameter für verschiedene Wurfweiten und -höhen ermitteln.



### Prinzip des schiefen Wurfs

### Schwingungen und Wellen

- Vergleich Rotation und Federpendel (Scheibe mit Stift in der Seitenansicht). Aufbau der Szene und eingeben geeigneter Parameter.
- Überlagerung einer horizontalen und einer vertikalen Schwingung mit gleichen und verschiedenen Frequenzen. Wann ergibt sich ein Kreis?
- Visualisierung von Longitudinalwellen.
- ... und vieles andere mehr!