

MECHANICUS

Dem Buch ist eine DVD beigelegt mit dem Programm **MECHANICUS**. Das Programm wurde mit MatLab erstellt und arbeitet mit einer **graphischen Benutzeroberfläche**. Das Programm läuft **nur auf Rechnern, auf denen MatLab – Version 7.7 (Release 2007b) oder später – installiert ist – mit Ausnahme von über 80 bereits fertig gestellten fotorealistischen Filmen. Diese Filme im avi-Format können z. B. mit dem Windows-Mediaplayer abgespielt werden.**

In MECHANICUS sind die Dgln. von 52 mechanischen und zwei nichtmechanischen Systemen fest installiert. Diese sog. *eingebetteten Dgln.* können nicht geändert werden und beschreiben rollende und hüpfende Bälle, Kreisel, Pendel, Oszillatoren, Satelliten und andere Systeme.

Die Dgln. werden numerisch gelöst. Anschließend können zu den berechneten Bewegungen zwei- und dreidimensionale Kurven sowie Fourierspektren betrachtet werden. Für 43 mechanische Systeme können auch direkt nach numerischen Berechnungen 3D-Animationen aufgerufen werden.

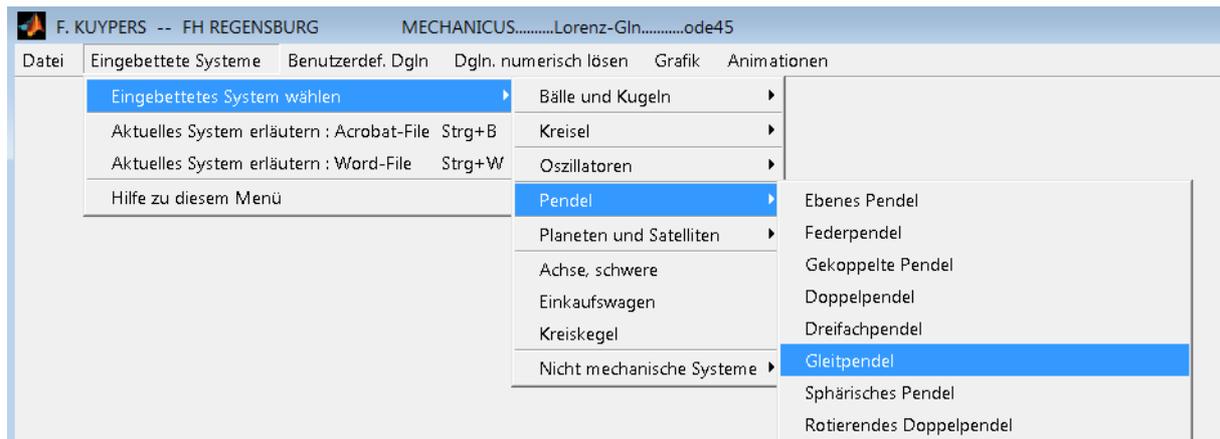
Das Programm MECHANICUS hat folgende Merkmale:

- Mit dem Programm lassen sich die Bewegungen der meisten mechanischen Systeme, die in Lehrbüchern und Vorlesungen behandelt werden, leicht berechnen und untersuchen.
- Der Benutzer kann auch eigene, sog. *benutzerdefinierte* explizite Dgln. 1. Ordnung eingeben. Dazu muss er zuerst der Reihe nach den Namen der Dgln., die Zahl der gekoppelten Dgln. und der Parameter sowie die Namen der Variablen und der Parameter eintippen. Anschließend sind die expliziten Dgln. einzugeben.
- Die großenteils intuitive Bedienung ist für die benutzerdefinierten Dgln. (nach deren Eingabe) und für 53 fest installierte Dgln. *vollständig identisch*; nur der Kettenschwinger ist eine Ausnahme. Der Anwender muss die Bedienung nur *einmal* lernen.
- Die Dgln. können mit sieben verschiedenen mathematischen Verfahren, die MatLab zur Verfügung stellt, numerisch gelöst werden.
- Das Programm erkennt die meisten Eingabefehler und fordert den Benutzer zur Korrektur auf.
- Zwei Arten von **3D-Animationen** werden angeboten:
 - 1) 43 mechanische Systeme ermöglichen 3D-Animationen, die sich sofort nach der numerischen Lösung der Dgln. starten lassen (siehe die beiden Momentaufnahmen auf Seite XI). Diese Animationen sind relativ einfach: Sie enthalten zwar Glanzpunkte auf den Oberflächen, aber keine Schatten. Üblicherweise werden etwa 15 bis 30 Bilder pro Sekunde abgespielt.
 - 2) Für 31 mechanische Systeme hat der Autor über 80 aufwendige, **fotorealistische** 3D-Animationen erstellt (siehe die Momentaufnahmen auf den Seiten XII bis XVI).

Die Bilder und Texte auf den folgenden drei Seiten IX – XI geben dem Leser einen ersten Eindruck von den Eingabemasken und den Möglichkeiten von MECHANICUS. Eine **Bedienungsanleitung** findet der Käufer auf der beiliegenden DVD in der Datei

Mechanicus\Hilfe\Bedienungsanleitung zu MECHANICUS.doc oder

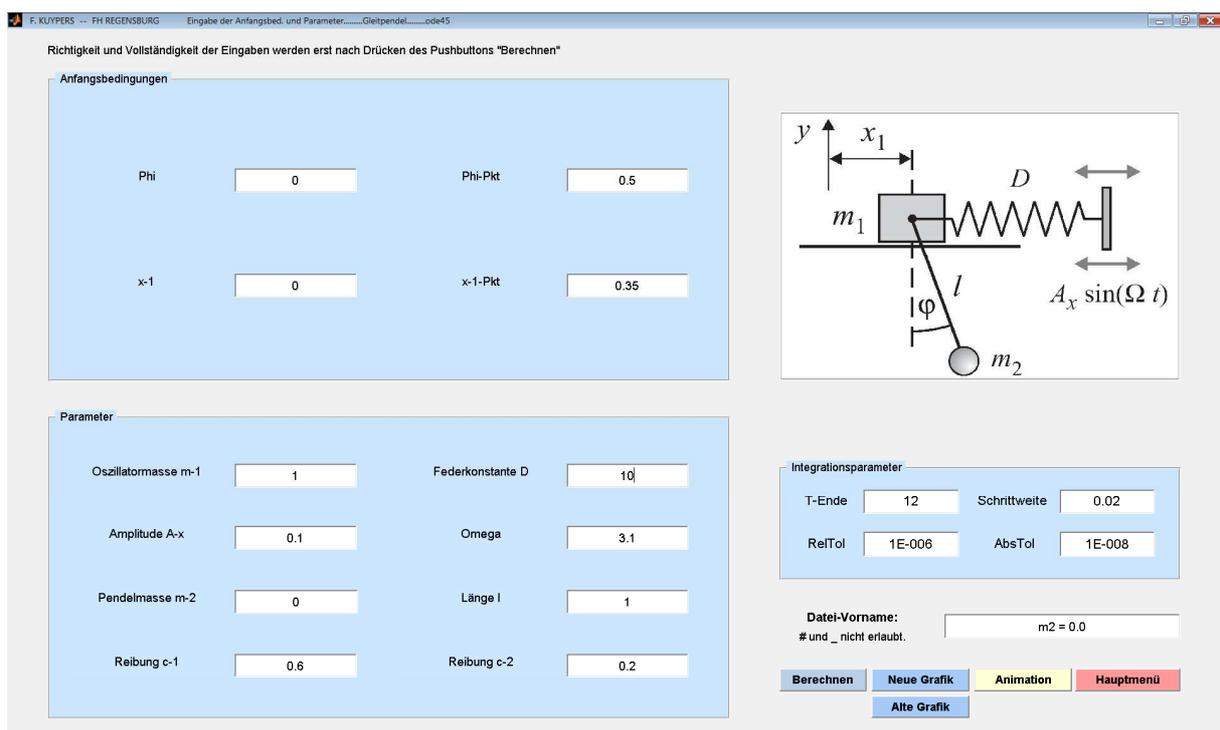
Mechanicus\Hilfe\Bedienungsanleitung zu MECHANICUS.pdf



Pulldown-Menü Eingebettete Systeme

In MECHANICUS sind 54 Systeme fest installiert, deren Dgln. nicht geändert werden können. Im zweiten Pulldown-Menü kann im ersten Untermenü Eingebettetes System wählen ein neues System gewählt werden. Hier ist das System Gleitpendel markiert.

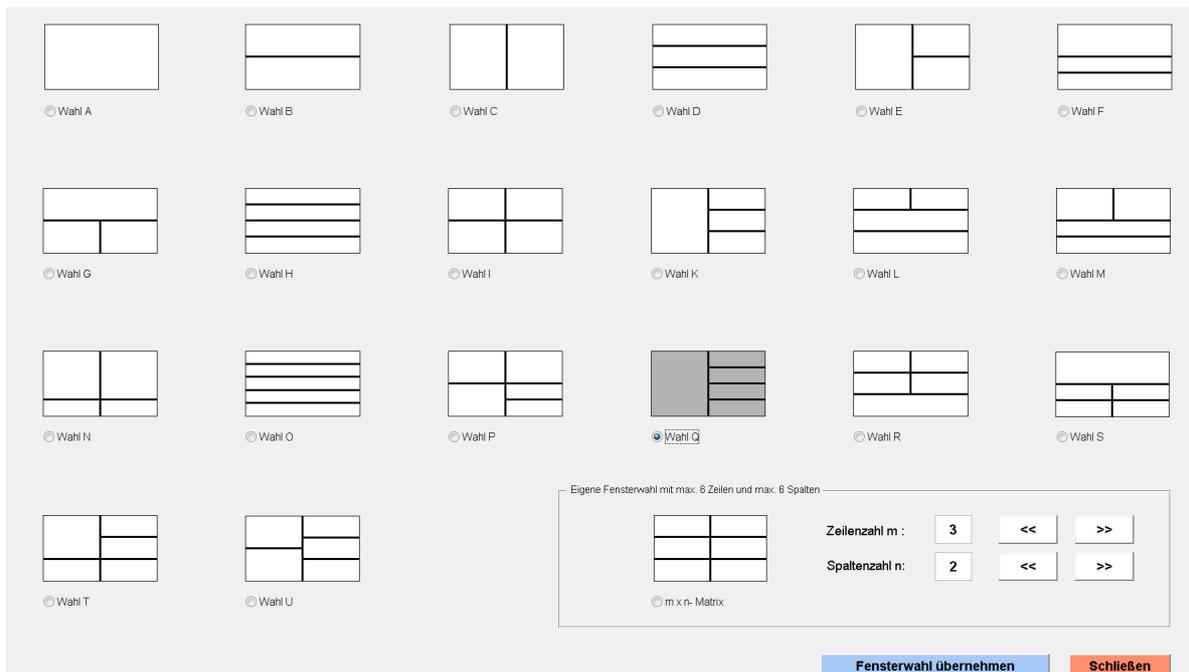
Das zweite und dritte Untermenü öffnen eine Acrobat- bzw. eine Word-Datei mit ausführlichen Kommentaren, evtl. auch mit Dgln. und Literaturhinweisen zum aktuell gewählten System.



Numerische Lösung der Dgln.

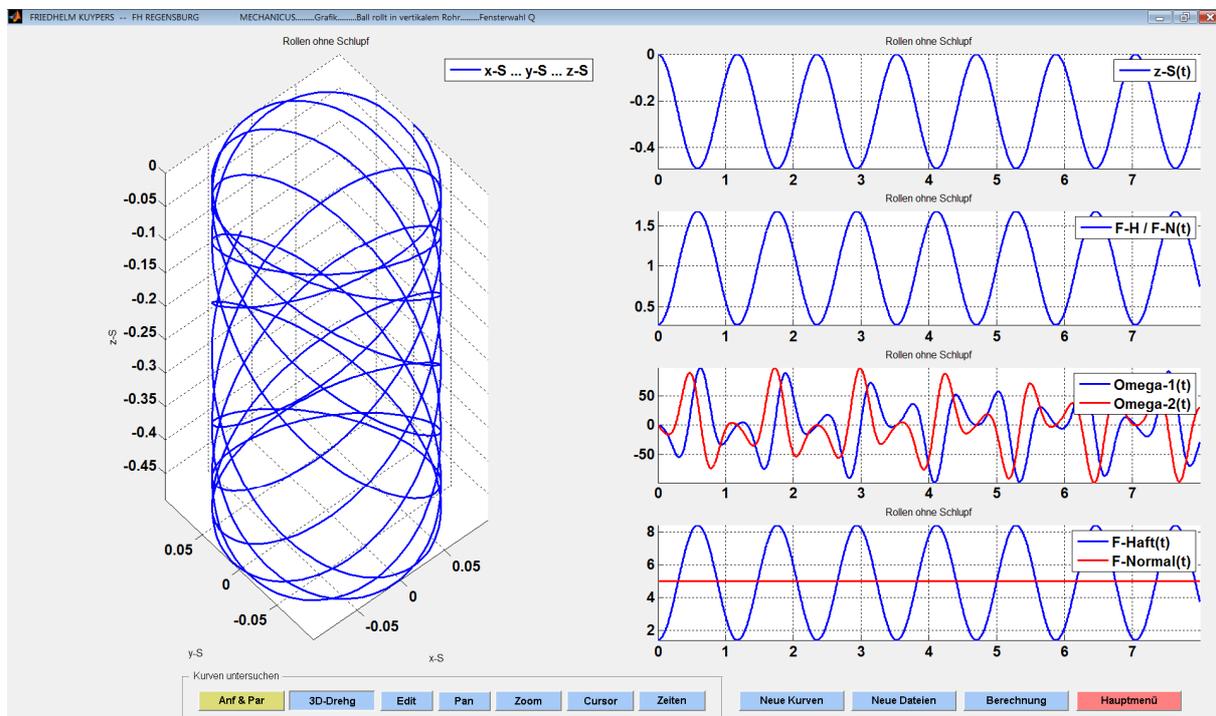
Vor der numerischen Lösung der Dgln. müssen die Anfangsbedingungen, die physikalischen Parameter, vier Integrationsparameter und der Name der Datei, die die numerische Lösung aufnimmt, eingegeben werden. Klicken des Buttons Berechnen startet die numerische Berechnung.

Nach der numerischen Lösung führt der Button Neue Grafik auf die Auswahl neuer Kurven. Der Button Alte Grafik liefert – für die neu berechnete Datei – automatisch die bereits früher ausgewählten Kurven. Eine einfache 3D-Animation der neu berechneten Bewegung ist hier ebenfalls möglich.



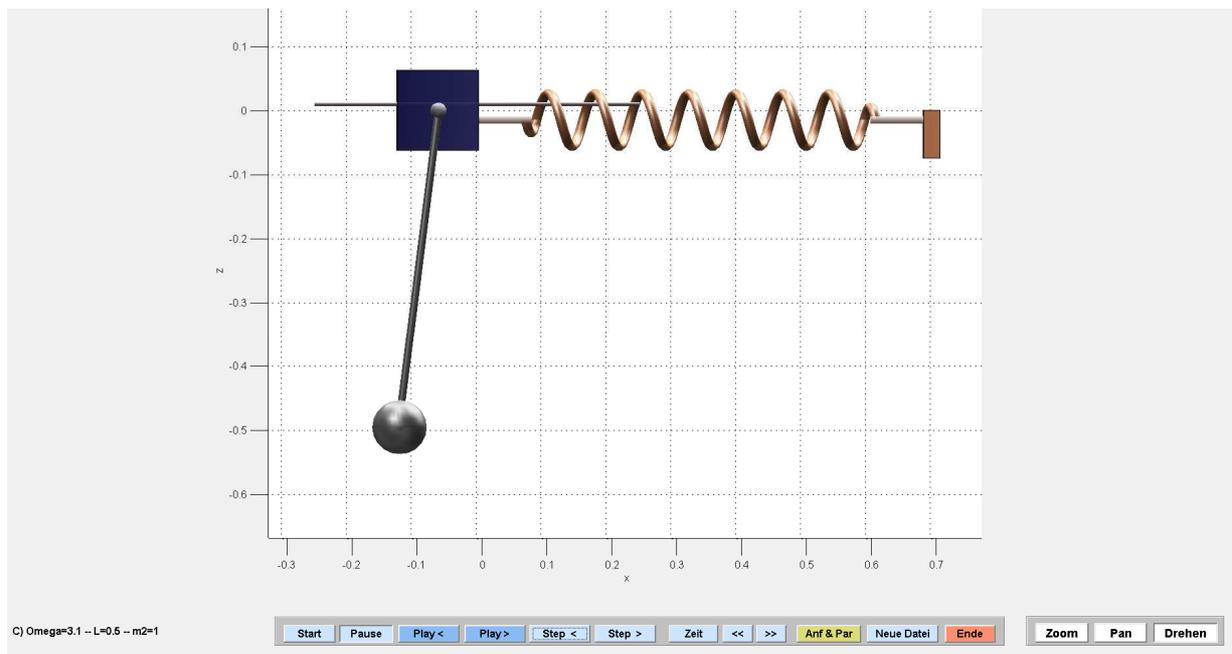
Auswahl der Fenster

Ein Mausklick legt Zahl und Anordnung der Fenster fest, in denen die numerisch berechneten Kurven gezeichnet werden sollen.



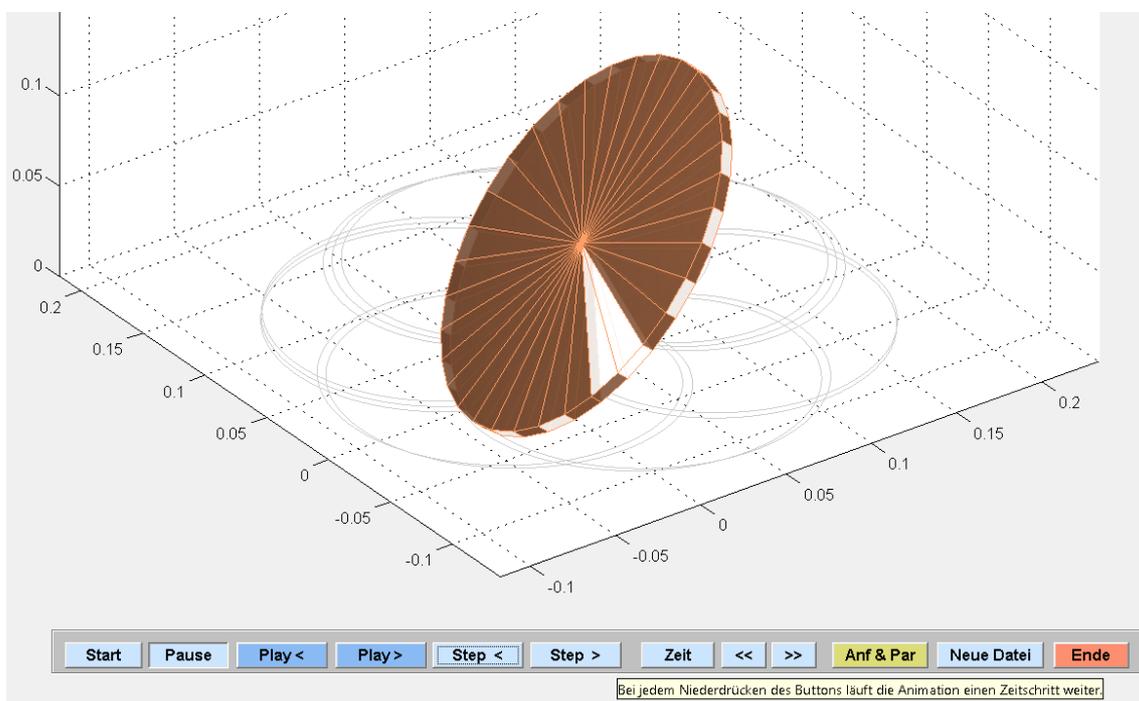
Kurvenansicht

Hier werden links eine 3D-Kurve und rechts vier 2D-Kurven gezeigt. Die Bedeutung der Pushbuttons am unteren Bildschirmrand wird durch Kommentare verdeutlicht, die nach kurzem Kontakt mit der Maus automatisch eingeblendet werden.



Einfache 3D-Animation des Gleitpendels

Direkt nach der numerischen Berechnung kann MECHANICUS für 43 mechanische Systeme eine 3D-Animation starten, wobei auf neueren, normal schnellen PC's etwa zwischen 15 und 30 Bilder pro Sekunde abgespielt werden.



Einfache 3D-Animation einer rollenden Scheibe – Vergrößerter Teilausschnitt

Die Bedeutung der Pushbuttons am unteren Bildschirmrand wird durch Kommentare verdeutlicht, die nach kurzer Verzögerung eingeblendet werden, wenn die Maus auf dem entsprechenden Button steht. Hier ruht die Maus auf dem Button [Step >](#).

In Aufgabe 12–18 werden die Dgln. aufgestellt und die Bewegungen untersucht.

Fotorealistische Filme

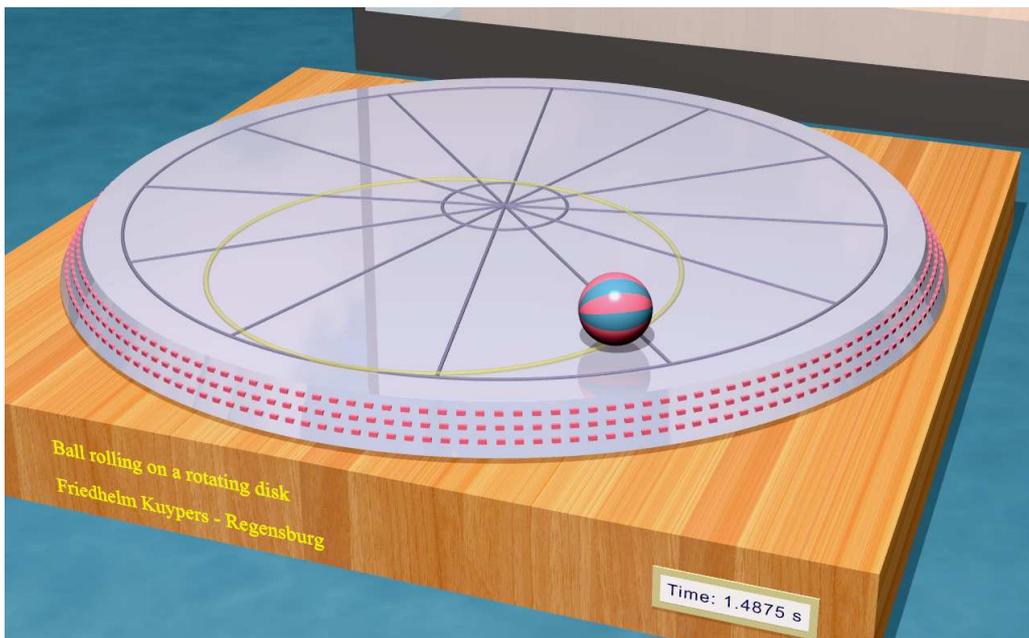
Die beiliegende DVD enthält über 80 **fotorealistische Filme**, die mit dem kostenfreien Renderprogramm POV-Ray für 31 mechanische Systeme erstellt wurden. Die Filme im avi-Format können von MECHANICUS aus oder aber auch durch Doppelklick im Windows-Explorer gestartet werden. Sie werden üblicherweise mit dem Windows-Mediaplayer abgespielt, falls der bekannte und kostenlose Codec **DivX** auf dem Rechner installiert ist.

Die POV-Ray-Filme

- haben in der Regel eine Auflösung von **1280x1024 Pixel**.
- haben **3 Byte Farbtiefe**.
- spielen mindestens **25 Bilder pro Sekunde** ab.
- haben meistens eine Abspielzeit von 2 Minuten (mit 3000 Einzelbildern).

Quadcore-Rechner benötigen für die Berechnung eines einzelnen Filmes mit einfachen Bildern etwa einen halben Tag, mit komplexen Bildern (z. B. mit Federn) bis zu drei Tagen.

Die folgenden Farbbilder zeigen **Ausschnitte von Momentaufnahmen** einiger Filme.



Ball rollt auf rotierender Scheibe. Auf einer waagerechten, rotierenden Scheibe rollen Bälle, deren Reibungsverluste vernachlässigt werden können, auf **raumfesten Kreisbahnen**. Noch verwunderlicher sind die Bewegungen, wenn die rotierende Scheibe geneigt ist.

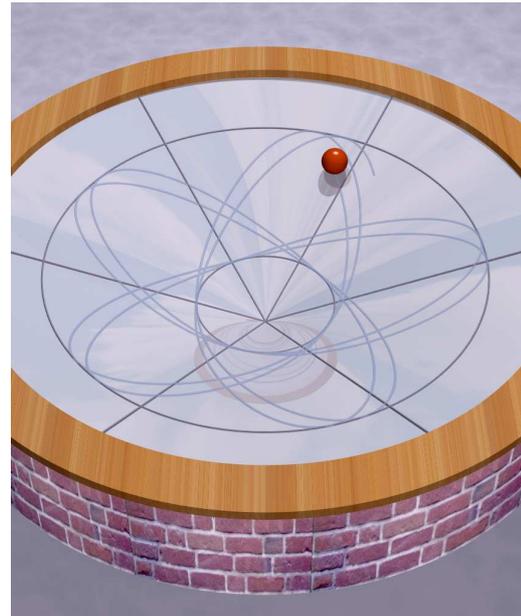
In Aufgabe 12–16 werden die Dgln. aufgestellt und analytisch gelöst. Die Ergebnisse von Experimenten werden kurz beschrieben.

In Aufgabe 12–16 werden auch bemerkenswerte Analogien zu den Bewegungen geladener Teilchen in elektromagnetischen Feldern aufgezeigt.



Stehaufkreisel. Der Stehaufkreisel richtet sich nach dem schnellen Andrehen auf dem Stift auf.

In Aufgabe 12–19 wird die Reibungskraft am Boden untersucht und werden die Dgln. aufgestellt. Numerisch berechnete Kurven werden interpretiert und Stabilitätsuntersuchungen durchgeführt.

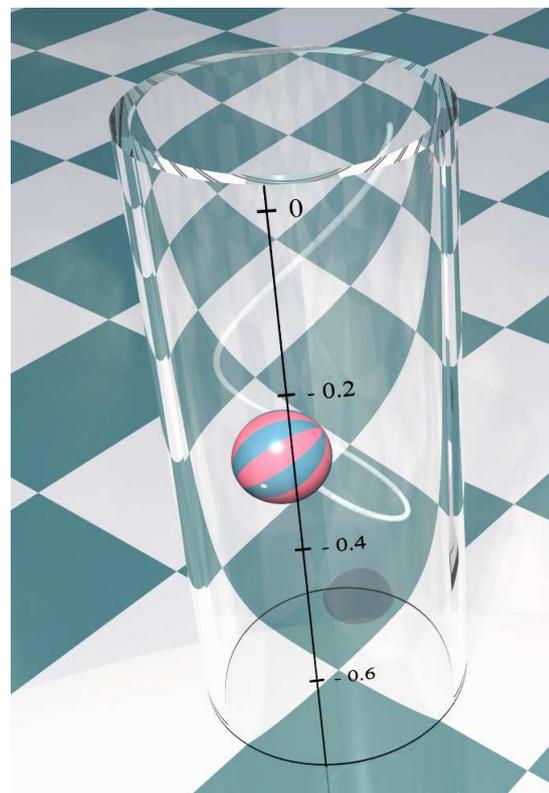


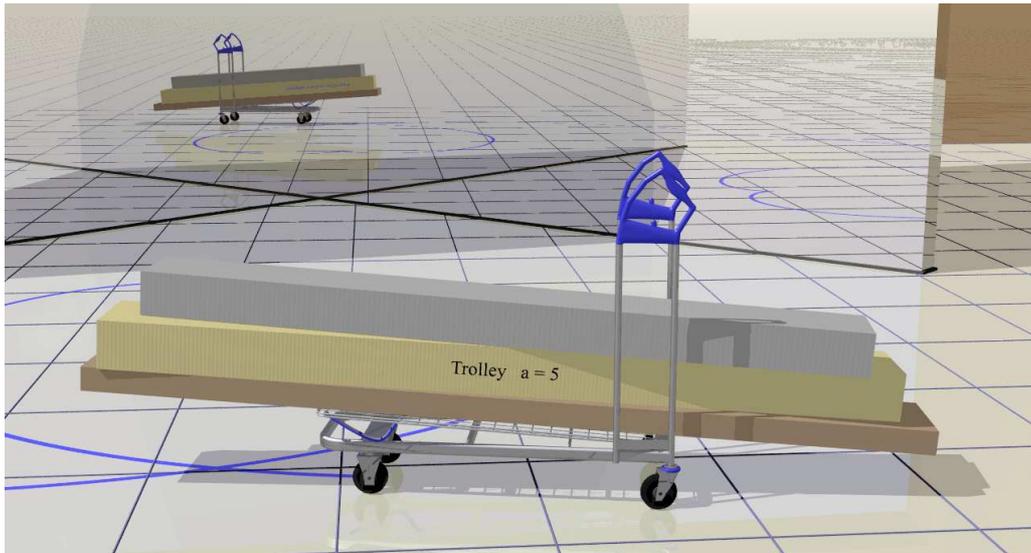
Kreiskegel. Eine Kugel mit vernachlässigbarem Trägheitsmoment rollt ohne Reibungsverluste in einem Kreiskegel.

Die Dgln. werden mit verschiedenen Methoden in mehreren Beispielen aufgestellt. Beispiel 11.5–2 zeigt, dass die Kugel zwischen zwei Kreisen auf und ab läuft.

Ball rollt in vertikalem Rohr. Völlig unerwartet ist die Bewegung eines Balls, der ohne Schlupf und ohne Energieverlust in einem ruhenden vertikalen Rohr rollt: Der Ball **rollt** nicht nach unten, wie wohl jeder Physiker erwartet, sondern **periodisch zwischen einem tiefsten und einem höchsten Punkt auf und ab**.

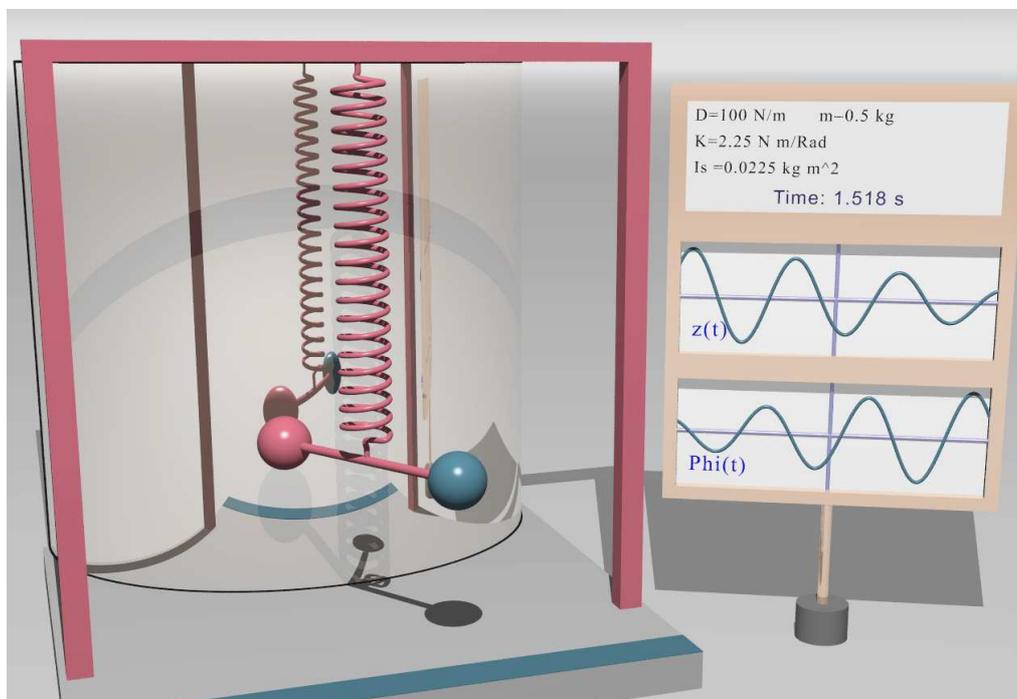
In Aufgabe 12–17 werden die Dgln. aufgestellt und numerische Lösungen untersucht.





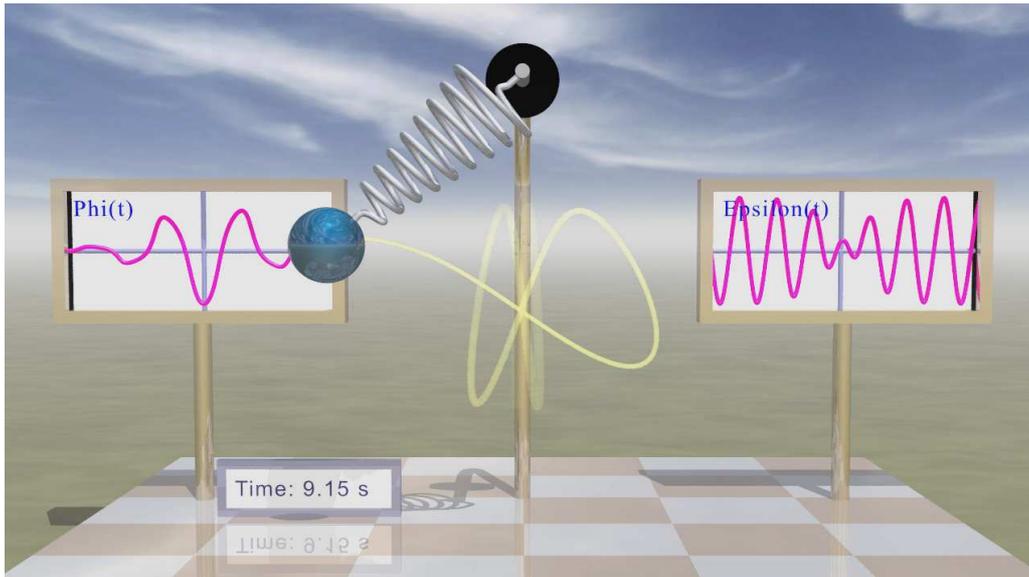
Einkaufswagen. Ein Einkaufswagen (hier vor zwei Spiegeln) rollt ohne menschliche Führung und reibungsfrei auf einer **herzförmigen Kurve**. Dabei dreht er sich mehrmals um die Hochachse, bevor er asymptotisch auf eine Gerade zuläuft. Physiker mit Spieltrieb können die berechneten Bewegungen mit solchen beladenen Einkaufswagen bestätigen, bei denen sich nur die beiden Räder unter den blauen Handgriffen um die Hochachse schwenken lassen.

In Aufgabe 9–14 werden die Dgln. aufgestellt. Die Zahl der Drehungen um die Hochachse wird analytisch berechnet.



Wilberforce-Pendel. Hier treten schwebungsartige Wechsel zwischen vertikalen Schwingungen und Torsionsschwingungen auf.

Dieses Pendel wird im Lehrbuch nicht behandelt. Aber im Programm MECHANICUS können die Dgln. und Erläuterungen gelesen werden.

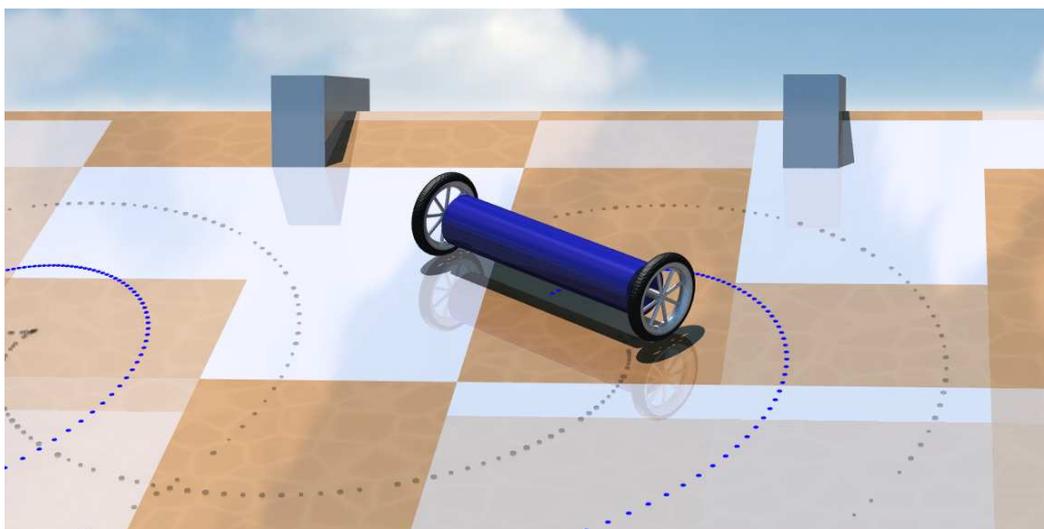


Federpendel. Die **vertikale Schwingung** eines harmonischen Oszillators ist **instabil**, wenn Masse m , Federkonstante D und Federlänge l die Gl.

$$\sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{D}{m}} \quad n = \text{natürliche Zahl}$$

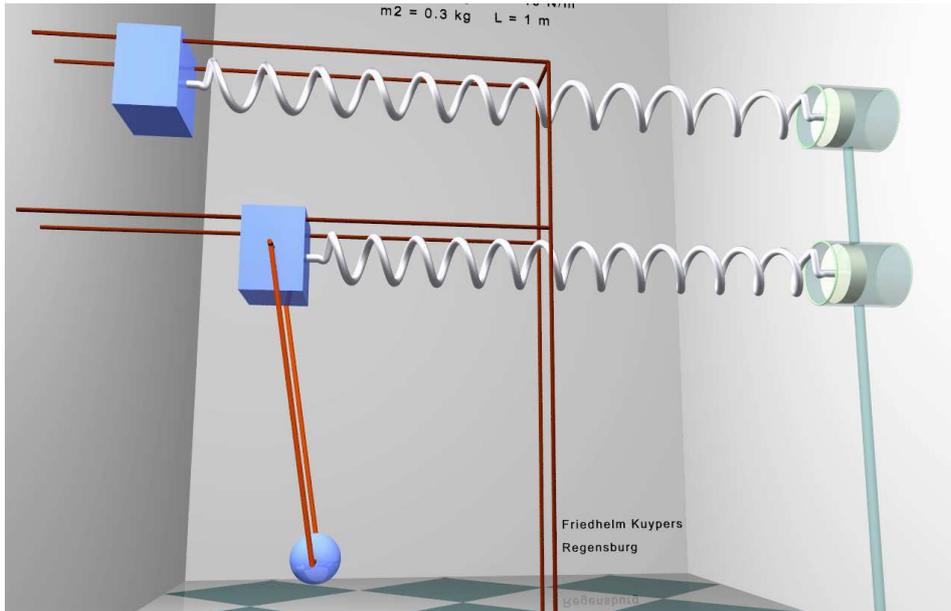
erfüllen. Auch bei kleinsten *seitlichen* Anfangs-Auslenkungen ($\varphi(0) \neq 0$) wechselt die Bewegung endlos zwischen nahezu vertikalen Schwingungen und starken seitlichen Pendelausschlägen. In der Aufnahme ist $\varphi \approx -48,5^\circ$.

In Aufgabe 5–12 werden die Dgln. aufgestellt und die kritischen Bedingungen für die Parameter untersucht.



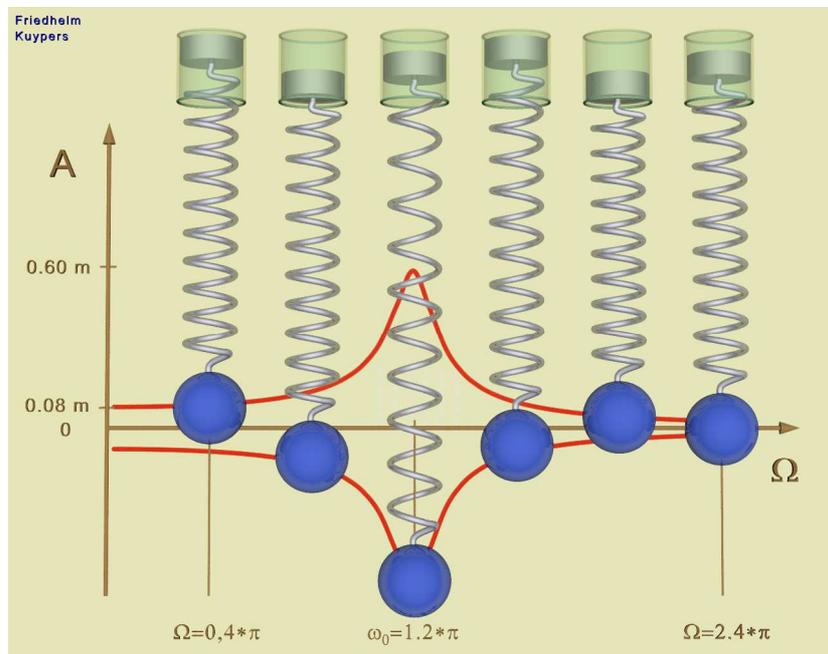
Schwere Achse. Eine schwere Achse läuft auf einer schiefen Ebene nicht den Hang hinab, sondern **quer zum Hang auf zykloidenartigen Kurven**.

In Beispiel 9.1–3 werden die Dgln. aufgestellt und gelöst. Die Begründung für die überraschende Bewegung ist sehr anschaulich.



Gleitpendel. Die erzwungenen Schwingungen des unten dargestellten Gleitpendels verdeutlichen die Wirkungsweise der [Schwingungstilger in Hochhäusern](#). Im 500 m hohen Wolkenkratzer Taipei 101 hängt ein Pendel mit einer Länge von 42 m und einer Pendelmasse von 660 Tonnen(!). Es soll die durch Taifune und Erdbeben ausgelösten Hochhaus-Schwingungen tilgen.

Im Lehrbuch werden die Dgln. eines Gleitpendels (Rollpendels) ohne Erregung mit verschiedenen Methoden in mehreren Beispielen aufgestellt.



Harmonischer Oszillator. Die Animation zeigt die erzwungenen Schwingungen von 6 identischen, gedämpften Oszillatoren bei 6 verschiedenen Erregerfrequenzen Ω . Die rote Resonanzkurve $A(\Omega)$ und die Phasenverschiebung $\varphi(\Omega)$ zwischen Erregung und Schwingung werden bestätigt.

In Beispiel 13.1–2 werden erzwungene Schwingungen des linearen Oszillators untersucht.