

## CHAOTISCHE MECHANIK

komplexe, nicht vorhersagbare Bewegung

### Der Versuch:

Man setzt mit dem Drehknopf das chaotische Pendel in Bewegung und lässt es danach frei schwingen. Die beiden Arme vollführen eine nicht nachvollziehbare chaotische Bewegung. Bringt man das Pendel mit fast den gleichen Ausgangsbedingungen wieder in Schwingung, so verläuft die Bewegung nach kurzer Zeit völlig anders; d.h. faktisch ist der Vorgang nicht reproduzierbar.

### Das Ergebnis:

Die Bewegung der Arme des Pendels kann man zwar durch Gleichungen ausdrücken und ihre Bewegung berechnen, doch führen kleine Variationen in den Anfangsbedingungen zu einem so unterschiedlichen Verhalten, dass die Bewegung bald nicht mehr vorhersagbar ist; deshalb heißt dieses Pendel auch chaotisches Pendel. Die Bewegung ist jedoch nicht völlig beliebig: man kann statistische Aussagen über bestimmte Bewegungsmuster machen.

## CHAOTISCHE MECHANIK

... Beispiele aus der Praxis:



ROULETTE



WÜRFELSPIEL



LOTTOKUGELN

### Chaos erwünscht!

Systeme, in denen die Gesetze der Mechanik herrschen, können sich durch geringste Veränderung der Anfangsbedingung chaotisch verhalten, wodurch überraschende, nicht vorhersehbare Wirkungen erzeugt werden. Beim Roulette, Würfeln oder der Ziehung der Lottozahlen ist dieses chaotische Verhalten rein mechanischer Systeme sogar beabsichtigt.

## UNTERSETZENDE MECHANIK

die sich selbst aufzehrende Bewegung

### Der Versuch:

Eine Maschine veranschaulicht durch mehrfache Getriebe-Untersetzung (hier 5-fach) die fortschreitende Bewegungslosigkeit.

### Das Ergebnis:

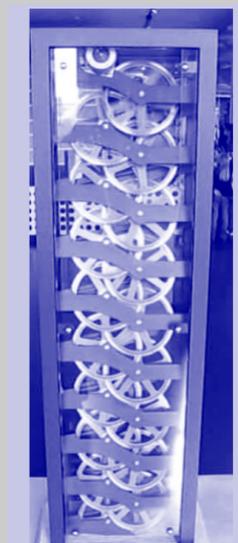
Durch die Hintereinanderschaltung von fünf Stufen potenziert sich die Untersetzung so stark, dass der Museumsbesucher 17 Stunden bei 1 U/s an dem ersten Zahnrad drehen müsste, bis das letzte eine ganze Umdrehung schafft. Eine Bewegung mit bloßem Auge ist an dem letzten Zahnrad ohnehin kaum wahrnehmbar.

### Rechnung:

95 Zähne  
: 15 Zähne = 6,33 Untersetzung  
bei  $6,33^5 = 64.365$  sek.  
= 17 Stunden

## UNTERSETZENDE MECHANIK

... Beispiel aus der Praxis:



16-STUFEN UNTERSETZUNG

### Unendliches Warten!

Viele Technikmuseen zeigen solche Getriebe-konstruktionen mit fast unendlicher Untersetzung. Ein Exemplar besitzt ein 16-stufiges Getriebe, bei dem man etwa 1 Million Jahre warten müsste, wollte man eine Umdrehung des letzten Zahnrades miterleben. Obwohl dieses einbetoniert ist, lässt sich die Konstruktion aufgrund des Spiels und der elastischen Spannung der Zahnräder problemlos über Jahre bewegen.

## ÜBERSETZENDE MECHANIK

Messen mit dem Feinzeiger

### Der Versuch:

Auf einem Rad sind verschiedene winzige Körper (Haar, Papier, Nylonfaden...) aufgeklebt, deren Dicke durch Abtasten mit einem Feinzeiger bestimmt werden soll. Hier wird über einen Rollentaster auf zwei hintereinander liegende Hebel die erzeugte Abweichung bzw. Abtastung eine mehrfach größere Bewegung auf einer Skala angezeigt.

### Das Ergebnis:

Bei einem Feinzeiger werden geringste Abweichung (z.B. auf einer Oberfläche) durch deren multiplizierende Übersetzung mit Hilfe des Hebelprinzips gut sichtbar gemacht. Bei einer Übersetzung von 1 : 100 schlägt die Nadel des Feinzeigers dann beispielsweise einen Zentimeter aus und ist somit gut sichtbar.

## ÜBERSETZENDE MECHANIK

... Beispiel aus der Praxis:

### Feinzeiger heute:



### Ohne Toleranz!

Noch vor 200 Jahren galten Abweichungen bei Maschinenteilen von etwa 2 mm bis zu einem Zentimeter als normal. Heute wächst das Verlangen nach geometrischer Genauigkeit in der Technik ständig. Festgelegte Normen im 1000stel Millimeterbereich sind keine Seltenheit mehr. Solche feinen Differenzen lassen sich mit einfachem Messwerkzeug oder gar dem bloßen Auge nicht messen. Etwa seit Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es deshalb Feinzeiger.

## UNMÖGLICHE MECHANIK

die ewige Suche nach der unendlichen Bewegung „Perpetuum Mobile“

### Der Versuch:

Man konstruiert eine Maschine, die einmal in Bewegung gebracht, durch raffiniert angeordnete Kettenreaktionen scheinbar unendlich weiter läuft.

### Das Ergebnis:

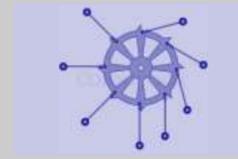
Je ausgewogener die Bewegungsabläufe konstruiert sind, desto länger kann so eine Maschine selbstständig laufen. Aufgrund der auf unserem Planeten herrschenden physikalischen Gesetze (Gravitation und Reibungswiderstände) ist ein unendlicher Lauf jedoch unmöglich. Schon Leonardo da Vinci erkannte dies und schrieb:



„Oh Ihr Erforscher der beständigen Bewegung, wie viele eitle Hirngespinnste habt Ihr geschaffen bei dieser Suche. Gesellt Euch also lieber zu den Goldmachern!“

## UNMÖGLICHE MECHANIK

... Beispiele aus der Praxis:



KUGELRAD



LICHTMÜHLE



TRINKVOGEL

### Unendliche Spielerei!

Schon vor über 1000 Jahren gab es erste Versuche, überliefert durch den indischen Mathematiker Bhāskara, eine Unendlichkeits-Maschine zu konstruieren. Bis heute wird daran gearbeitet, neue Rekorde mit immer länger selbstständig laufenden Maschinen aufzustellen.

>>>Das Deutsche Patent- und Markenamt weist Patentanmeldungen, die ein Perpetuum mobile zum Gegenstand haben, unter Verweis auf die mangelnde Ausführbarkeit der Erfindung (gewerbliche Anwendbarkeit) nach § 1[14] PatG zurück.<<<

## CHAOTISCHE MECHANIK

komplexe, nicht vorhersagbare Bewegung

### Das Experiment:

Man setzt mit dem Drehknopf das chaotische Pendel in Bewegung und lässt es danach frei schwingen. Die beiden Arme vollführen eine nicht nachvollziehbare chaotische Bewegung. Bringt man das Pendel mit fast den gleichen Ausgangsbedingungen wieder in Schwingung, so verläuft die Bewegung nach kurzer Zeit völlig anders; d.h. faktisch ist der Vorgang nicht reproduzierbar.

### Auswertung:

Die Bewegung der Arme des Pendels kann man zwar durch Gleichungen ausdrücken und ihre Bewegung berechnen, doch führen kleine Variationen in den Anfangsbedingungen zu einem so unterschiedlichen Verhalten, dass die Bewegung bald nicht mehr vorhersagbar ist; deshalb heißt dieses Pendel auch chaotisches Pendel. Die Bewegung ist jedoch nicht völlig beliebig: man kann statistische Aussagen über bestimmte Bewegungsmuster machen.

## CHAOTISCHE MECHANIK

Weitere Beispiele aus dem Leben:



ROULETTE



WÜRFELSPIEL



LOTTOKUGELN

### Chaos erwünscht!

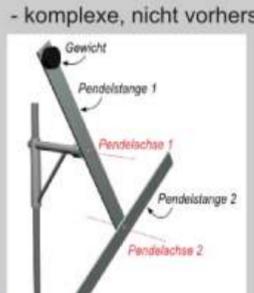
Systeme, in denen die Gesetze der Mechanik herrschen, können sich durch geringste Veränderung der Anfangsbedingung chaotisch verhalten, wodurch überraschende, nicht vorhersehbare Wirkungen erzeugt werden. Beim Roulette, Würfeln oder der Ziehung der Lottozahlen ist dieses chaotische Verhalten rein mechanischer Systeme sogar beabsichtigt.

## DAS CHAOTISCHE DOPPELPENDEL

Durchführung: Man lenkt das chaotische Pendel aus, und lässt es danach frei schwingen. Die beiden Arme vollführen eine nicht nachvollziehbare chaotische Bewegung. Bringt man das Pendel mit fast den gleichen Ausgangsbedingungen wieder in Schwingung, so verläuft die Bewegung nach kurzer Zeit völlig anders; d.h. faktisch ist der Vorgang nicht reproduzierbar.

Auswertung: Die Bewegung der Arme des Pendels kann man zwar durch Gleichungen ausdrücken und ihre Bewegung berechnen, doch führen kleine Variationen in den Anfangsbedingungen zu einem so unterschiedlichen Verhalten, dass die Bewegung bald nicht mehr vorhersagbar ist; deshalb heißt dieses Pendel auch chaotisches Pendel. Die Bewegung ist jedoch nicht völlig beliebig: man kann statistische Aussagen über bestimmte Bewegungsmuster machen.

- komplexe, nicht vorhersehbare Bewegung



Weitere Beispiele, gewünschter chaotischer Vorgänge:

