

7. Stoßprozesse und Impulserhaltung

7.1. Einführung

Im folgenden Kapitel werden Stoßprozesse behandelt, bei denen die physikalische Größe „Impuls“ p eine wichtige Rolle spielt.

Der Impuls als physikalischer Begriff ist definiert als das Produkt von Masse m und Geschwindigkeit v : $p=mv$.

Wie bei der Energie existiert ein Erhaltungssatz des Impulses, der ebenfalls universelle Gültigkeit besitzt.

Der Begriff des Impulses, der sowohl in der klassischen wie auch in der modernen Physik eine hohe Bedeutung besitzt, wird im folgenden an Hand von Zusammenstößen von Teilchen eingeführt und erläutert.

Das unter <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/kollision.flv> herunterzuladende Video zeigt einen solchen Zusammenstoß zweier metallischer Vollkugeln und anschließend einen fließenden Übergang zu der entsprechenden Simulation.

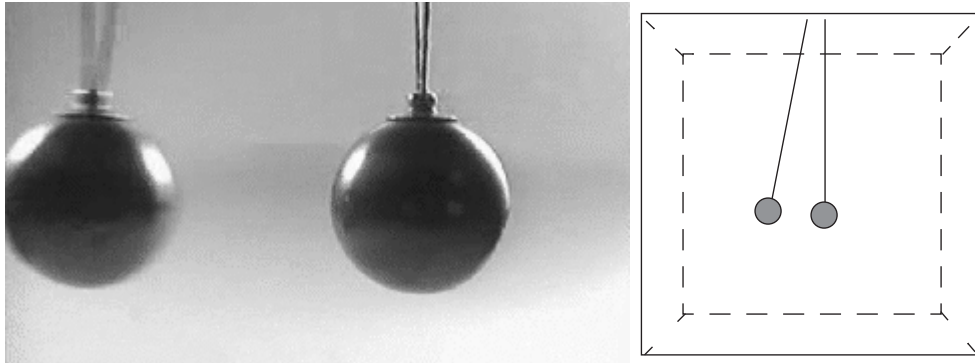
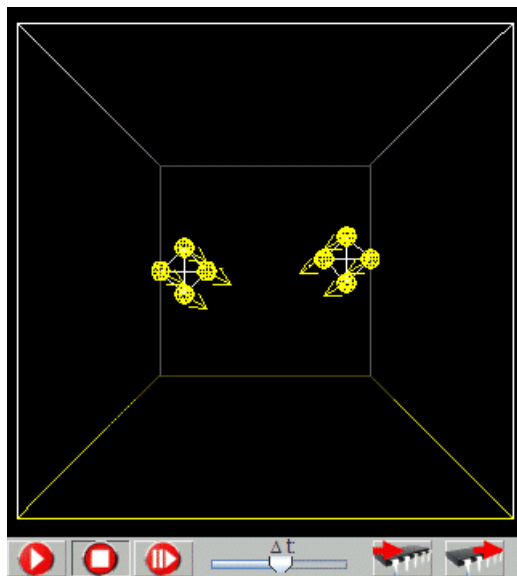


Abb. 7.1.: Zusammenstoß zweier Metallkugeln und Darstellung in einer Simulation

Die folgende Simulation erlaubt eine detaillierte Untersuchung solcher Stoßprozesse.

Wenn immer möglich sollten Realexperimente diese Untersuchungen begleiten, sei es mit Schlitten auf einer Luftkissenbahn oder mit Vollkugeln - wie im Video zu sehen.

7.2. Stoßprozesse mit realistischen Körpern



Die Simulation "7-Kollision-real" zeigt einen Stoß zwischen zwei Körpern, die als ausgedehnte, elastische Körper modelliert wurden, bestehend aus vier mit Federn verbundenen Teilchen. In der Regel ändern bei einem Zusammenstoß die Stoßpartner Betrag und Richtung ihrer jeweiligen Geschwindigkeit und es werden innere Schwingungen angeregt. Außerdem können die Körper in Rotation versetzt werden.

Rotation und innere Schwingungen absorbieren Energie und überlagern und verschleiern somit die für Stoßprozesse maßgebenden Prinzipien. Deshalb sollten zunächst Stoßexperimente so gestaltet werden, dass Rotationen vermieden werden.

Fig 7.2.Simulation "7-Kollision-real"

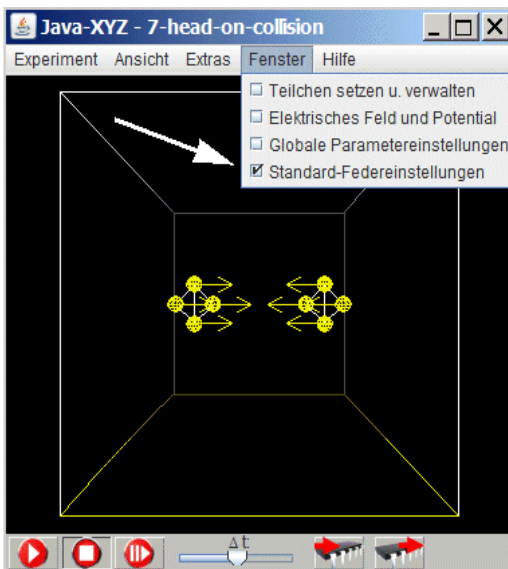


Fig 7.3. Simulation "7-Zentraler Stoß"

Wird die Steifheit der Körper durch größere Werte für D erhöht, so wird deutlich, wie innere Schwingen vernachlässigbar werden.

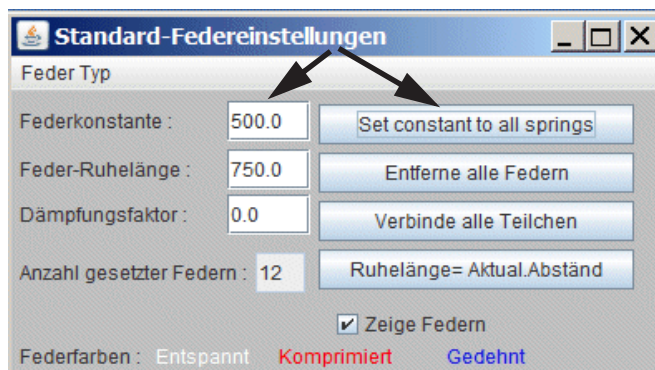
Interessante Werte für die Federkonstante D sind:

$D = 10; 50; 100; 500; 1000; 2000$ Einheiten

Zur Benutzerschnittstelle.

Die Federkonstante D für alle zu setzenden Federn wird in dem Fenster "Standard-Federeinstellungen" festgelegt.

Dieses Fenster ist über ein Untermenü des Menüs "Fenster" in der Menüleiste von JavaXYZ zugänglich (Abb.6.3.).



Eine Anwendung der numerisch eingegebenen Federkonstanten für alle schon gesetzten Federn erfolgt durch Aktivieren der entsprechenden Taste in dem Fenster "Standard-Federeinstellungen" (Abb.7.4.)

Fig 7.4. Festlegen von D für alle Federn

7.3. Stoßprozesse mit idealistischen starren Körpern

Die mathematische Behandlung von Stoßprozessen basiert auf dem Modell des starren Körpers als einer Idealisierung, bei der innere Schwingungen völlig vernachlässigt werden können.

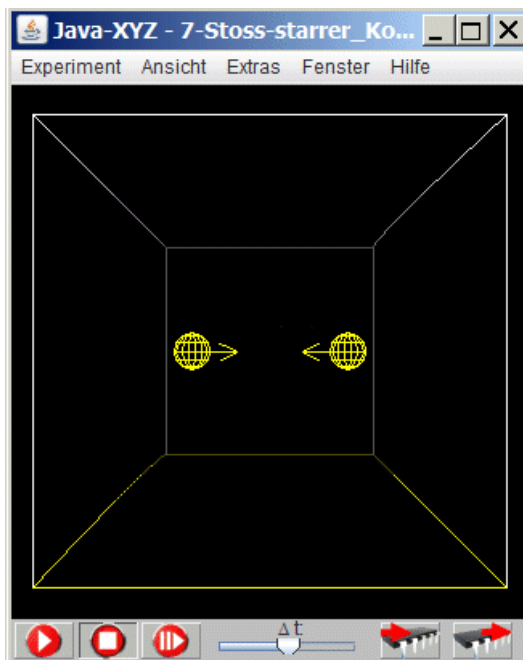
Die Teilchen in der folgenden Simulation werden als solche starren Körper modelliert. Dies bedeutet, dass die elastischen Verformungen während eines Zusammenstoßes keine Energie absorbieren und dass keine inneren Schwingungen angeregt werden.

Dagegen sind die Kubuswänden als völlig unelastisch modelliert, so dass die Teilchen bei einem Zusammenstoß sämtliche Energie verlieren.

Die Simulation "7-Stoss-starrer_Koerper" bietet die Möglichkeit, Stoßprozesse zu untersuchen, in dem sowohl die x-Komponente der Geschwindigkeit der Teilchen als auch ihre Masse variiert werden.

Um die gezeigten Ergebnisse zu deuten, ist die Kenntnis von zwei Erhaltungsgesetzen erforderlich, dem Gesetz von der Erhaltung der Energie und dem Gesetz von der Erhaltung des Impulses. (Ableitung dieser Gesetze und Definition dieser Größen findet sich in jedem Lehrbuch)

7.4. Erhaltung des Impulses



Der Impuls p ist definiert als Produkt von Geschwindigkeit und Masse: $p = m v$.

Für jedes einzelne Teilchen ändert sich daher der Impuls, wenn sich bei einem Zusammenstoß die Geschwindigkeit ändert. Es zeigt sich jedoch, dass der gesamte Impuls - die Summe aller einzelnen Impulse - bei einem Stoßprozess erhalten bleibt.

Bei der oben angegebenen Simulation gibt es eine Ausnahme und zwar bei einem Zusammenstoß mit der Teilchen mit den Wänden des Kubus. Diese Wände sind als völlig unelastisch modelliert und als hätten sie eine unendlich große Masse. Deshalb können die Wände jeden Impuls der Teilchen absorbieren indem sie mit unendlich kleiner Geschwindigkeit zurückweichen.

Fig 7.5. Simulation "7-Stoss-starrer_Koerper"

Zur Bestimmung eines Gesamtimpulses müssen Einzelimpulse addiert werden. Dabei ist zu beachten, dass der Impuls eine vektorielle Größe ist. Er besitzt neben einem Betrag immer auch eine Richtung und für jeder Richtung zwei Orientierungen, die als positiv (+) oder negativ (-) gekennzeichnet werden. Zum Beispiel ist der Gesamtimpuls zweier gleich großer Teilchen mit den entgegengesetzt orientierten Geschwindigkeiten $+v$ und $-v$ gleich Null (Gesamtimpuls $p = +p_1 + -p_1 = 0$).

Die folgende Tabelle gibt das Ergebnis verschiedenen Stoßprozesse wieder und zeigt, dass der Gesamtimpuls bei jedem Stoßprozess erhalten bleibt.

Der Index 1 bezieht sich auf die Zeitspanne vor und 2 auf die Zeitspanne nach dem Stoß.

#	m_1	v_1 t_1	p_1 t_1	v_1 t_2	p_1 t_2	m_2	v_2 t_1	p_2 t_1	v_2 t_2	p_2 t_2	p_1+p_2 t_1	p_1+p_2 t_2
1	1	100	100	0	0	1	0	0	100	100	100	100
2	1	100	100	-100	-100	1	-100	-100	100	100	0	0
3	3	100	300	50	150	1	0	0	150	150	300	300
4	3	100	300	0	0	1	-100	-100	200	200	200	200
5	2	100	200	?	?	1	0	0	?	?	200	?
6	2	100	200	?	?	1	-100	-100	?	?	100	?
7	1	100	100			1000	-100	-10^5	?	?	?	?
...												

*Tabelle 1: Meßprotokoll verschiedener Stoßprozesse;
Index 1= Zeitspanne vor dem Stoß ; Index 2= Zeitspanne nach dem Stoß*