

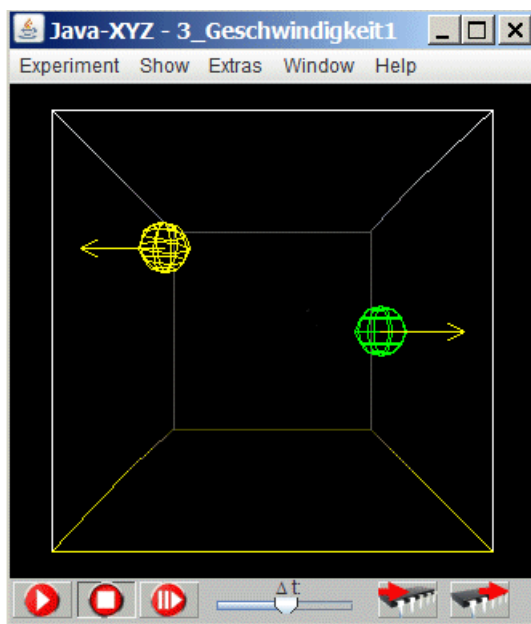
### 3. Geschwindigkeit und Beschleunigung

#### 3.1. Addition und Subtraktion von Geschwindigkeiten

Einige physikalische Größen wie Geschwindigkeit, Kraft u.a. haben nicht nur einen Betrag sondern stets auch eine Richtung. Solche Größen nennt man Vektoren.

Ist eine Geschwindigkeit an eine bestimmte Richtung gebunden, wie in der folgenden Simulation, so kann sie zwei Orientierungen aufweisen und zwar entweder nach rechts oder links, nach oben oder unten o.a.

In der Physik und Mathematik gilt die Konvention, solche Orientierung als positiv (+) und negativ (-) zu kennzeichnen. Diese Kennzeichnung ist nicht gleichzusetzen mit den mathematischen Operationen der Addition (+) und Subtraktion (-), auch wenn gleich aussehen.



Wird eine Geschwindigkeit als  $+v$  gekennzeichnet, so sollte sie als positiv orientierte Geschwindigkeit benannt werden. Die Kurzform "positive Geschwindigkeit" kann bei Anfängern zu Lernschwierigkeiten führen. Es gibt keine positiven oder negativen Geschwindigkeiten, sondern nur positiv oder negativ orientierte Geschwindigkeiten und dies nur in Bezug auf eine vorgegebene Richtung.

Falls solche Geschwindigkeiten addiert oder subtrahiert werden sollen, so gelten folgende Regeln:

Abb. 3.1. Simulation "3-Geschwindigkeit"

- Die Addition einer negativ orientierten Geschwindigkeit ist gleichbedeutend mit der Subtraktion einer positiv orientierten Geschwindigkeit  $+(-)v = -(+)v$
- Die Subtraktion einer negativ orientierten Geschwindigkeit ist gleichbedeutend mit der Addition einer positiv orientierten Geschwindigkeit  $-(-)v = (+)v$
- Die anzuwendende Regel ist die gleiche wie bei der Addition und Subtraktion positiver oder negativer Zahlen.

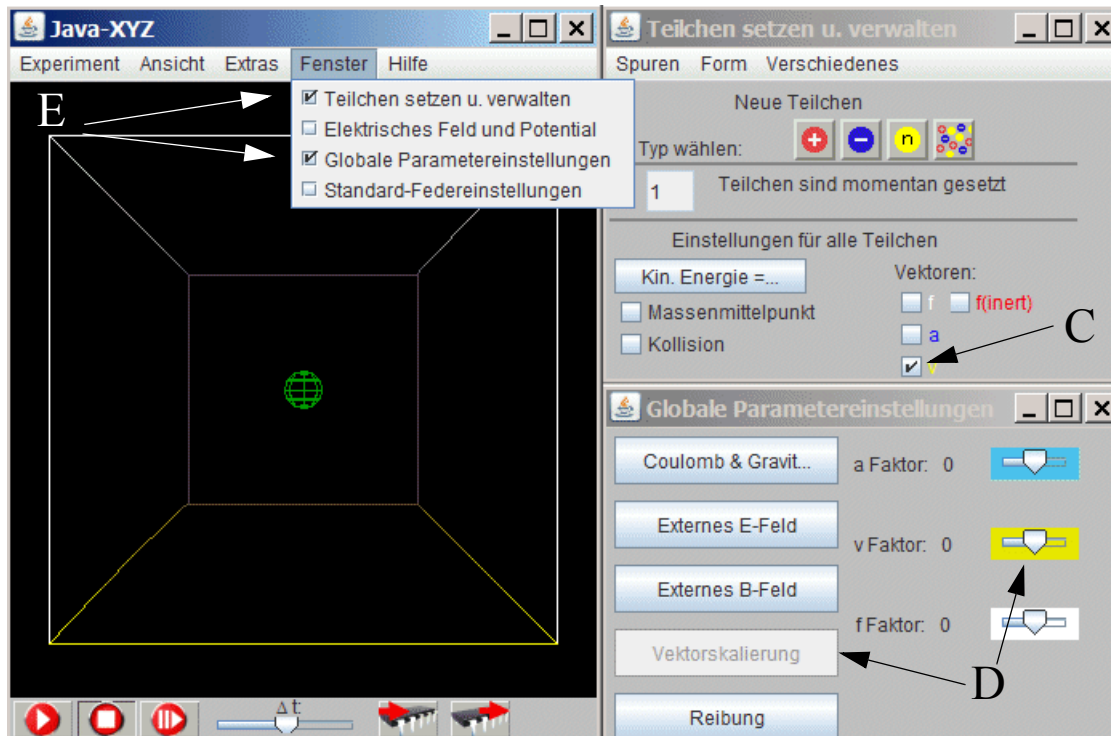
#### Zur Benutzerschnittstelle

Die folgende Abbildung zeigt, wie der Betrag einer Geschwindigkeit festgestellt oder verändert werden kann. Dies geschieht durch die numerische Eingabe der drei Geschwindigkeitskomponenten  $v_x, v_y, v_z$  an den mit A gekennzeichneten Stellen im "Teilchen Inspektor"-Fenster".

*Abb. 3.2.: Eingabe der Geschwindigkeitskomponenten und Visualisierung der Geschwindigkeit als Vektorpfeil im "Teilchen Inspektor" Fenster*

Die Geschwindigkeit kann als Pfeil - Symbol für einen Vektor - sichtbar gemacht werden. Diese Funktionalität wird im "Teilchen Inspektor" Fenster (bei B) aktiviert und gilt für die Geschwindigkeit des ausgewählte Teilchens.

Die Visualisierung der Geschwindigkeit für alle im XYZ-Kubus befindlichen Teilchen erfolgt im Fenster "Teilchen setzen und verwalten" (bei C). Die Skalierung des Geschwindigkeitsvektors erfolgt im Fenster "Globale Parameterstellungen" (Abb, 3.2 bei D)



*Abb. 3.3.: Visualisierung einer Geschwindigkeit als Vektorpfeil und Skalierung des Vektors*

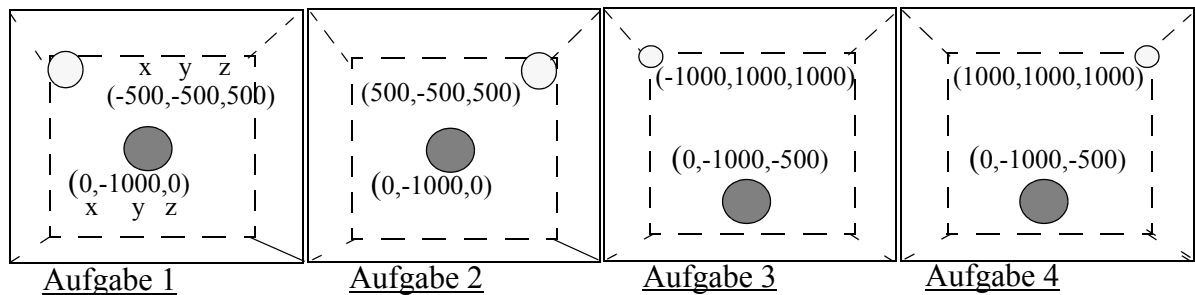
Die beiden letztgenannten Fenster werden aus dem Untermenü der Menuezeile oberhalb des XYZ-Kubus aufgerufen. (Abb.3.3. bei E)

### 3.2. Geschwindigkeit im Raum

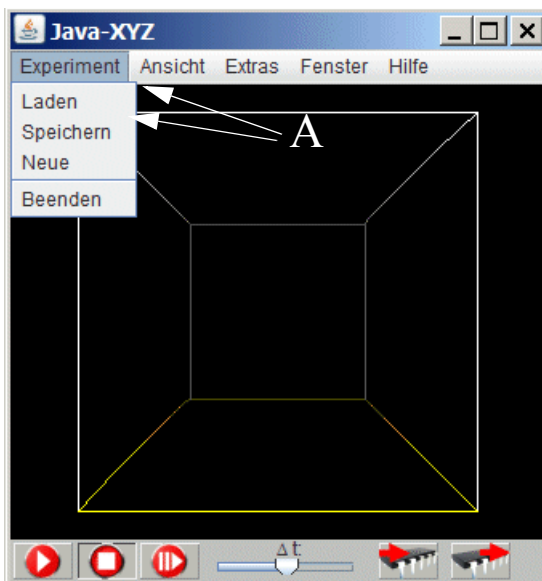
Eine Geschwindigkeit mit einer beliebigen Richtung im Raum kann in so genannte x-, y- und z-Komponenten eines rechtwinkligen Koordinatensystems zerlegt werden.

Diese Komponenten können zwei Orientierungen aufweisen, die als positiv oder negativ bezeichnet werden.

Die vorbereiteten Aufgaben 1 bis 4 dienen zur Einübung in den Gebrauch von Raumkoordinaten und Geschwindigkeitskomponenten. Es gilt jeweils, die Geschwindigkeitskomponenten des vorderen Teilchens derart einzustellen, dass das im Hintergrund vorhandene Teilchen zentral getroffen wird.



Zur Erinnerung: Der Kubus lässt sich drehen durch Anklicken und Bewegen der Maus mit gedrückter, linker Maustaste.



Die Aufgaben können entweder selbst hergestellt oder als vorbereitete Aufgaben geladen werden unter 3-Aufgabe1 bis 3-Aufgabe4.

#### Zur Benutzerschnittstelle

Vorbereite Aufgaben oder allgemein Dateien sind über das Untermenue "Experiment" in der Menuezeile des XYZ-Kubus zugänglich (Abb.3.4 bei A). Dort sind auch Lösungen zu den Aufgaben zu finden.

Abb. 3.4.Laden von vorbereiteten Simulationen

### 3.3. Geschwindigkeit und Bezugssystem

#### Ruhe und Bewegung

Die beiden Zustände „in Ruhe sein“ und „in Bewegung sein“ gelten im täglichen Leben selbstverständlich als unterschiedlich. Diese Selbstverständlichkeit wurde erstmalig im 17.Jahrhundert von Galilei und Newton in Frage gestellt.

Es gibt im gesamten Kosmos keinen Ort, von dem man sagen kann, er sei in Ruhe. Die Erde rotiert um ihre Polachse und kreist um die Sonne, die Sonne bewegt sich innerhalb der Milchstraße, usw.

Was so deutlich als Ruhe wahrgenommen, wird ist somit nur relativ. Es ist nur möglich, einen Ort als in Ruhe oder in Bewegung zu kennzeichnen, wenn ein Bezugssystem angegeben wird.

Die Bedeutung eines solchen Bezugssystems kann beispielhaft aufgezeigt werden, wenn die Bewegung eines Planeten beschrieben werden soll.

### Bewegung des Planeten Mars aus geozentrischer und heliozentrischer Perspektive

Um die Rückläufigkeit der Planeten zu verstehen, müssen die geozentrische und heliozentrische Perspektive gedanklich in Übereinstimmung gebracht werden. Um diese mentale Anforderung zu unterstützen, zeigt das Video am Beispiel des Planeten Mars Bilder aus diesen beiden Perspektiven mit kontinuierlichen Übergängen.



Abb. 3.5.: Video zur Rückläufigkeit des Planeten Mars  
([http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/mars\\_dt.htm](http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/mars_dt.htm))

Zum besseren Verständnis mag es hilfreich sein, die Bahn von Erde und Mars wie folgt zu vereinfachen.

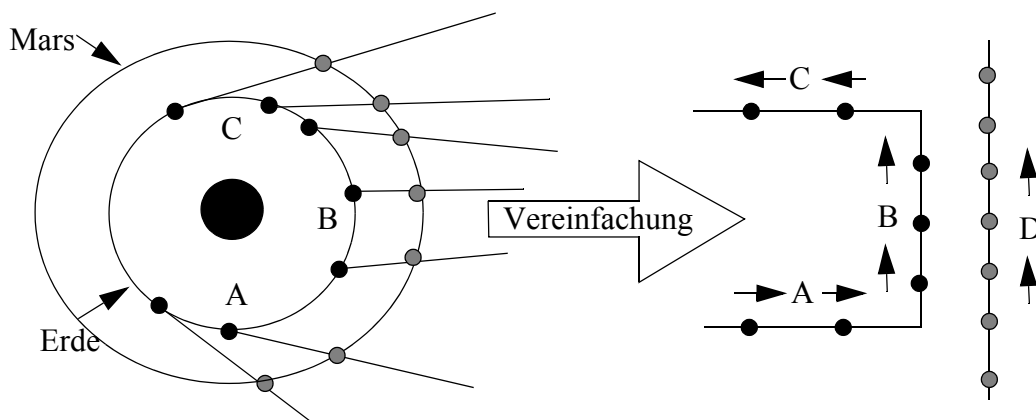


Abb. 3.6.: Vereinfachende Darstellung der Bahnen von Erde und Mars

Die kreisförmige Bahn der Erde wird zu den geraden Streckenabschnitten A-B-C vereinfacht, während die Bahn von Mars als gerade Strecke D dargestellt wird.

Von der Erde auf der Strecke A aus gesehen bewegt sich Mars offensichtlich nach links. Da sich die Erde schneller bewegt als Mars und ihn auf der Strecke B überholt, scheint Mars sich von der Erde aus betrachtet nach rechts zu bewegen. Auf der Strecke C scheint Mars sich, von der Erde aus betrachtet, wieder nach links zu bewegen.

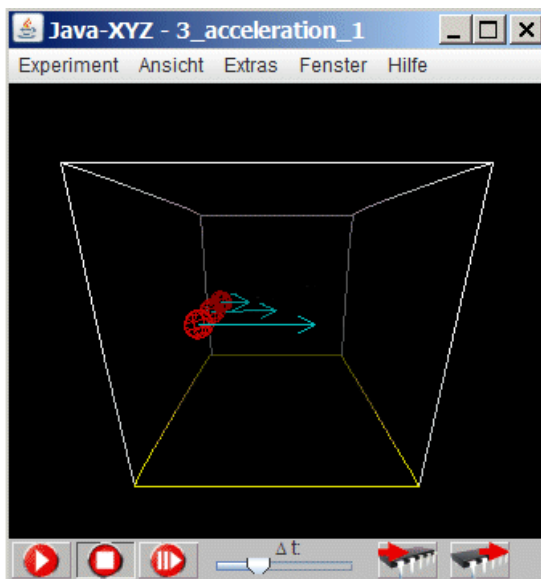
### 3.4. Beschleunigung

Im täglichen Leben wird eine Bewegung nur dann als beschleunigt bezeichnet, wenn sich ihre Geschwindigkeit erhöht. In der Physik hat dagegen der Begriff „Beschleunigung“ eine allgemeinere Bedeutung.

Wann immer sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert, sei es, daß sie größer oder kleiner wird oder daß sich ihre Richtung ändert, spricht man in der Physik von einer beschleunigten Bewegung.

#### Definition

Ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers innerhalb einer bestimmten Zeitdauer  $\Delta t$  von  $v_1$  nach  $v_2$  so ist die Bewegung beschleunigt.



Die Beschleunigung eines Körpers ist um so größer, je größer die Differenz  $v_2 - v_1$  für ein bestimmtes  $\Delta t$  ist. In mathematischer Sprache bedeutet dies:  $a \sim v_2 - v_1$

Die Beschleunigung eines Körpers ist um so kleiner, je größer die Differenz  $\Delta t = t_2 - t_1$  ist, um die gleich Geschwindigkeitsdifferenz  $v_2 - v_1$  zu erreichen. In mathematischer Sprache bedeutet dies:  $a \sim 1/(t_2 - t_1)$

Dies führt zu der Definition der Beschleunigung:  $a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = v_2 - v_1 / t_2 - t_1$

Abb. 3.7. Simulation "3-Beschleunigung1"

Die Teilchen in der vorbereiteten Simulation "3-Beschleunigung1" bewegen sich mit unterschiedlicher Beschleunigung. Dies läßt sich überprüfen, indem die Simulation nach einem kurzen Durchlauf gestoppt und die entsprechenden Geschwindigkeitskomponenten  $v_x$  bestimmt werden.

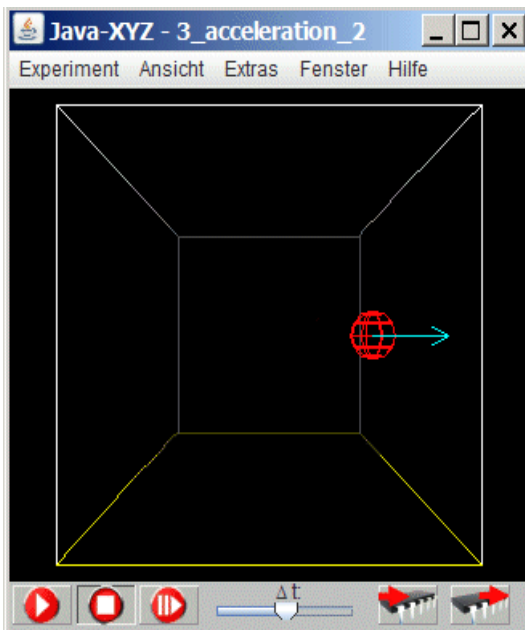
#### Beschleunigung als Vektor

Die physikalische Größe „Beschleunigung“ ist ein Vektor. Dies bedeutet, dass sie stets eine Richtung im Raum hat und in Komponenten längs den drei Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems zerlegt werden kann.

Für eine vorgegebene Richtung kann die Beschleunigung zwei Orientierungen aufweisen, die als positiv oder negativ bezeichnet werden.

Diese Bezeichnungen werden oft mit „schneller werden“ oder „langsamer werden“ gleichgesetzt. Die ist im physikalischen Sprachgebrauch jedoch nicht korrekt. Eine Bewegung mit negativ orientierter Beschleunigung kann sowohl langsamer als auch schneller werden.

Die vorbereitete Simulation "3\_Beschleunigung2" kann helfen, diesen Sachverhalt verständlich zu machen.



Der blaue Pfeil kennzeichnet die aktuell vorhandene Beschleunigung. Die Geschwindigkeit des Teilchens ändert sich beständig, wird schneller, kehrt die Orientierung um und wird langsamer, die Beschleunigung aber ist konstant und immer positiv orientiert.

Die Beschleunigung in dieser Simulation wird erzeugt durch die Simulation eines geladenen Teilchens in einem konstanten elektrischen Feld in x-Richtung. Es wirkt also eine konstante Kraft auf das Teilchen ein und daraus ergibt sich eine konstante Beschleunigung.

Abb. 3.8. Simulation "3-Beschleunigung2"

Anmerkung:

Die Beschleunigung während des Stoßes mit den Kubuswänden wird nicht gezeigt.

#### Zur Benutzerschnittstelle:

Die Größe und Orientierung der Beschleunigung kann in dem "Teilchen Inspektor" Fenster durch Änderung der Ladung des Teilchens eingestellt werden.

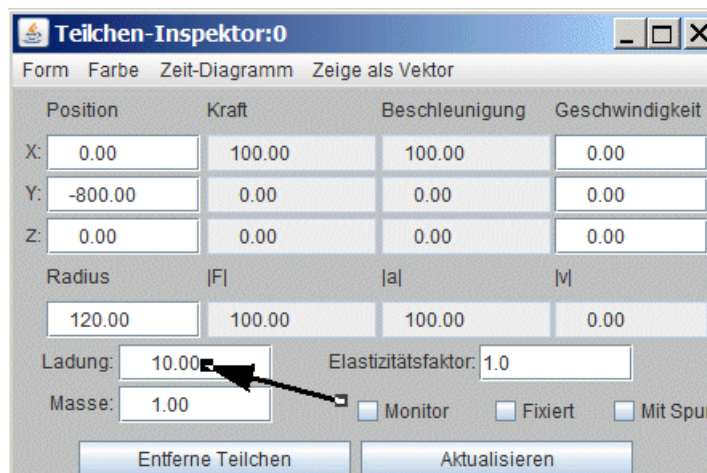


Abb. 3.9.: Änderung und Polarität der Ladung eines ausgewählten Teilchens

Eine zweite Möglichkeit der Änderung der Beschleunigung besteht in einer Änderung der Stärke des elektrischen Feldes (siehe Abb. 3.10)

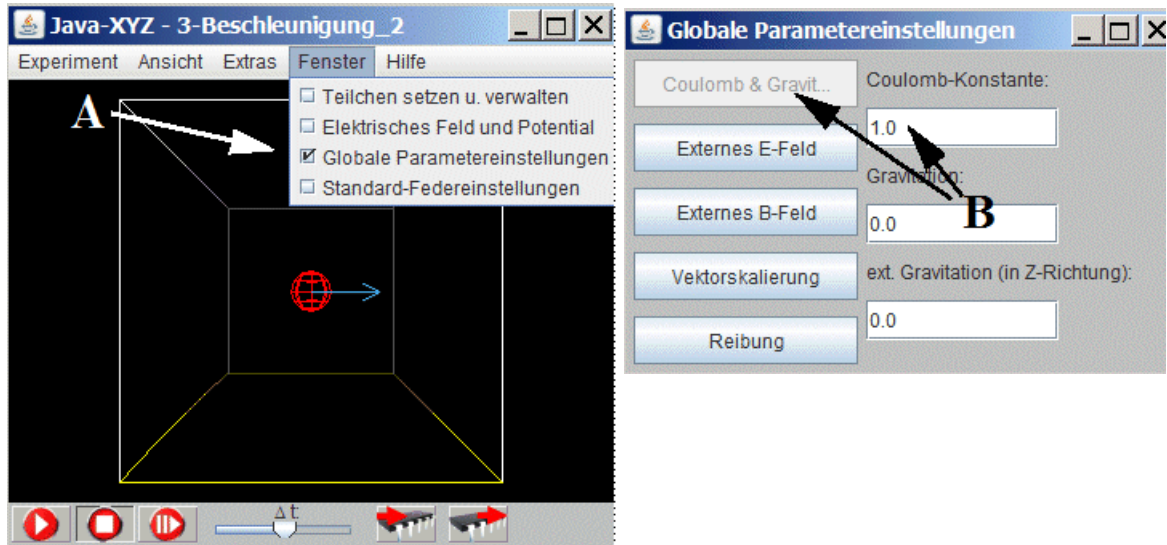


Abb. 3.10.: Einstellung oder Änderung einer simulierten elektrischen Feldstärke im Fenster "Globale Parametereinstellungen"

### Ergebnis

Die Orientierung der Beschleunigung - entweder positiv oder negativ - ist nicht gleichbedeutend mit einer schneller oder langsamer werdenden Geschwindigkeit.

Bei beiden Orientierungen kann die Geschwindigkeit größer oder kleiner werden.

Entscheidend ist nur, in welchem Sinn sich die Geschwindigkeit ändert. Ändert sich die Geschwindigkeit in Richtung positiver Werte, so ist die Beschleunigung positiv orientiert und umgekehrt.

Mathematisch gesprochen heißt dies:

Beschleunigung mit positiver Orientierung:  $(v_2 - v_1 > 0)$ ,

Beschleunigung mit negativer Orientierung:  $(v_2 - v_1 < 0)$

