

## Einleitung

Wir wollen das Fahrwerk eines Autos in Godot simulieren, nicht im Detail sondern so einfach wie möglich. Ein RigidBody wird die Masse des Autos simulieren. Das Verhalten der vier Räder sowie der Stoßdämpfer wollen wir jedoch selbst programmieren. Für jedes Rad beziehungsweise Stoßdämpfer werden wir einen RayCast verwenden. Wie wir am Ende sehen werden, ergibt dieses einfache Modell ein erstaunlich realistisches Fahrverhalten.

## Automodell

Das Modell wurde in Wings3D erstellt. Die Quelldatei befindet sich im Ordner „Accessories/Wings3D Models/Monteri-Body-Mirror.wings“. In Wings3D kann man eine Vorschau des unterteilten und geglätteten Modells mit der Tastenkombination „Umschalt-Tab“ anzeigen lassen. Für das Godot-Beispielprogramm wird eine Version des Modells verwendet, die nur einmal unterteilt wurde. In Wings3D kann man ein Modell im Format „glTF“ exportieren. Dieses Format ist optimal geeignet um es in Godot zu importieren.

## Landschaft

Auch hier wird ein einfaches Wings3D-Modell verwendet (Ground.wings).

## GDScript Klassen

Einige Klassen werden nachfolgend kurz beschrieben.

### WheelController

Hier wird ein Stoßdämpfer simuliert. Mittels eines RayCasts wird die Eintauchtiefe des Stoßdämpfers gemessen. Dann wird die Kraft berechnet, die die Feder auf das Auto ausübt. Die Kraft wird mit Hilfe des Gesetzes von Hooke berechnet. Die Kraft wird außerdem gedämpft, dazu benötigt man die Geschwindigkeit mit der das Federbein eintaucht. Die Kraft muss an einer bestimmten Position relativ zum Auto angreifen. Hierfür wird die GDScript-Funktion „*void add\_force(force: Vector3, position: Vector3)*“ verwendet. Die Berechnung der Position ist nicht ganz einfach. Man kann sie sich im Quelltext „WheelController.gd“ ansehen.

### MotorSoundController

Das Motorengeräusch wird aus drei Sinuswellen unterschiedlicher Frequenz erzeugt. Alle drei Wellen haben jedoch die Amplitude Eins (0 dB). Beim Mischen entstehen dadurch zwangsläufig Übersteuerungseffekte. Das ist aber so gewollt denn dadurch entstehen Oberwellen, die charakteristisch für den Sound sind. In Godot 3.1.1 kann man den Parameter „Attenuation Model“ nicht auf „disabled“ setzen (in späteren Versionen schon) – daher ist der Motor-Sound in dieser Version sehr seltsam.

### VehicleController

Sorgt dafür, dass man das Auto fahren kann. Das Verhalten des Autos wird hauptsächlich durch den RigidBody bestimmt. Um den starren Körper vorwärts zu bewegen wird eine einzelne Kraft auf ihn ausgeübt (nicht wie bei einer genauen Simulationen auf jedes einzelne angetriebene Rad). Um die Seitenführung der Reifen zu simulieren wird noch eine weitere Kraft quer zur Fahrtrichtung benötigt. Auch diese wirkt nur auf den starren Körper (um die Simulation möglichst einfach zu

halten). Um eine Kurve fahren zu können benötigen wir noch ein Drehmoment welches wir auch auf den RigidBody wirken lassen.

Die Tastaturabfrage ist mittels eines Signals (query\_driver) ausgelagert. Genauso die Berechnung des Motorsounds (update\_motor\_sound). Dadurch kann man die beiden Funktionen in anderen Dateien (Klassen) implementieren. Die vier Stoßdämpfer des Autos sollen alle die gleichen Werte haben. Der Einfachheit halber werden sie hier einmal eingegeben und dann an alle vier WheelController weitergeleitet (siehe auch Abbildung 1: Einstellungen Fahrwerk).

## Fahrwerk in eigenes Projekt einbauen

Das hier beschriebene Fahrwerk kann man einfach in sein eigenes Projekt einbauen. Im Ordner „Scenes“ befindet sich der Ordner „VehicleController“. Diesen kopiert man einfach in sein eigenes Projekt. Dann kann man sein eigenes Automodell mit eigenen Felgen und seine eigene Landschaft hinzufügen.

## Feder-Masse-Dämpfer-System

Das Fahrwerk eines Autos ist ein Beispiel eines Feder-Masse-Dämpfer-Systems. Jedes Rad eines Autos ist über einen Stoßdämpfer mit der Karosserie verbunden. Ein Stoßdämpfer besteht aus einer Feder und einem Dämpfer. Die Karosserie übt eine bestimmte Kraft auf die Feder aus. Diese Kraft ist abhängig von der Masse der Karosserie und der Erdanziehung. Die Feder muss eine entgegengesetzte Kraft auf die Karosserie ausüben, sie muss die Karosserie „tragen“. Wir wollen die Federkonstante und die Dämpfungskonstante des Stoßdämpfers berechnen.

### Eingeschwungener Zustand

Ein Feder-Masse-Dämpfer-System hat die Eigenschaft, dass es schwingen kann. Das ist bei einem Auto unerwünscht. Beim Überfahren einer Bodenwelle soll das Auto einfedern, aber nicht nachschwingen. Deswegen gibt es den Dämpfer im Stoßdämpfer. Nichtsdestotrotz hat das Auto eine Eigenfrequenz. Diese hängt von der „Härte“ der Feder ab (Federkonstante) und von der Masse der Karosserie. Man kann nun eine Frequenz vorgeben und daraus die Federkonstante berechnen, oder man gibt die Federkonstante vor und berechnet daraus die Eigenfrequenz. Wir wollen beide Fälle einmal durchspielen.

Wir berechnen die Werte für den eingeschwungenen Zustand. Das heißt, die Kraft auf den Stoßdämpfer wirkt schon eine ganze Weile. Gegeben sind die Masse  $m$  des Autos (der Karosserie) in kg und die Federkonstante  $k$  in N/m.

Wir nehmen an unser Auto wiegt 1480 kg. Dann wirkt auf alle vier Räder eine Kraft von 14504 N.

$$F = m \cdot g = 1480 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 14504 \text{ N}$$

Auf ein Rad (Stoßdämpfer) wirkt ein Viertel der Kraft, also 3626 N.

Angenommen die Federkonstante  $k$  beträgt 42214 N/m, dann federt das Auto um 8,6 cm ein (die Feder wird um 8,6 cm eingedrückt). Das kann man mit dem Gesetz von Hooke berechnen.

$$l = \frac{F}{k} = \frac{3626 \text{ N}}{42214 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = 8,6 \text{ cm}$$

Angenommen das Federelement hat keine Dämpfung. Dann schwingt das Auto mit einer Frequenz von 1,7 Hz in der vertikalen Richtung.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{42214 \frac{N}{m}}{370 \text{ kg}}} = 1,7 \text{ Hz}$$

Durch Umstellen der Gleichung kann man die Federkonstante berechnen, wenn man eine bestimmte Frequenz zugrunde liegt.

$$k = m \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2$$

Angenommen wir wollen die Federkonstante für eine Frequenz von einem Herz berechnen. Dann erhalten wir mit  $m = 370 \text{ kg}$  (Masse des Autos geteilt durch 4):

$$k = 370 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1)^2 = 14607$$

Das ist für dieses Auto eine relativ weiche Federung, denn alleine durch die Gewichtskraft des Autos wird die Feder um  $\frac{3626 \text{ N}}{14607 \frac{N}{m}} = 24,8 \text{ cm}$  eingedrückt.

## Dämpfung

Als nächstes wollen wir die Dämpfungskonstante bei gegebener Masse und Federkonstante berechnen. Wenn die Dämpfung zu schwach ist schwingt das Auto nach, wenn die Feder komprimiert wurde.

## Kritische Dämpfung

Der Dämpfungsgrad D ist  $D = \frac{d}{(2 \cdot \sqrt{(k \cdot m)})}$  mit:

D: Dämpfungsgrad

d: Dämpfungskonstante

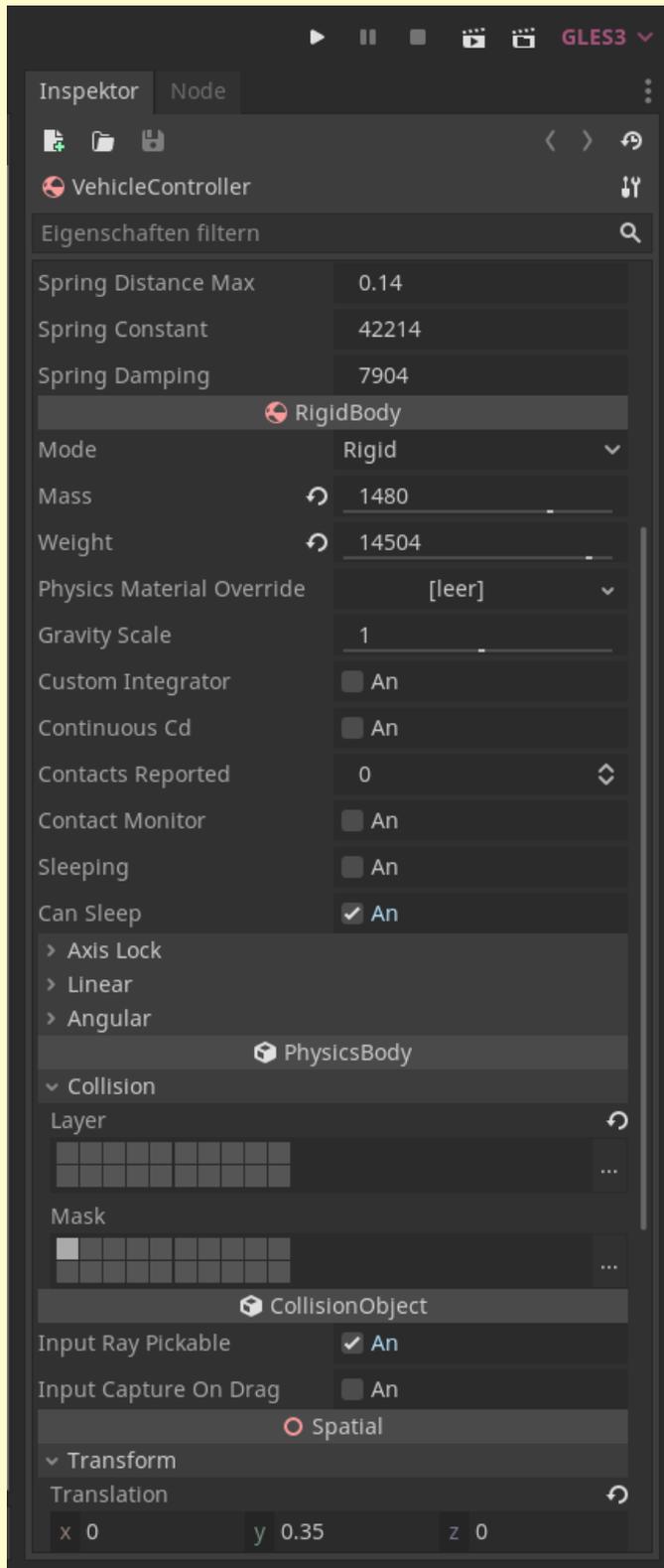
k: Federkonstante

m: Masse

Die kritische Dämpfung ist der aperiodische Grenzfall mit dem Dämpfungsgrad  $D = 1$ . Dann berechnet sich die Dämpfungskonstante zu:

$$d = 2 \cdot \sqrt{(k \cdot m)}$$

Mit  $k = 42214 \text{ N/m}$  und  $m = 370 \text{ kg}$  erhält man 7904.



## Federweg

Der Federweg bestimmt, wie weit die Feder ausgelenkt wird wenn das Auto keinen Bodenkontakt mehr hat. In unserem Beispielprogramm beträgt der Wert (Spring Distance Max) 14 cm.

Die wichtigsten Einstellungen des VehicleControllers sind hier dargestellt:  
Abbildung 1: Einstellungen Fahrwerk

Abbildung 1: Einstellungen Fahrwerk