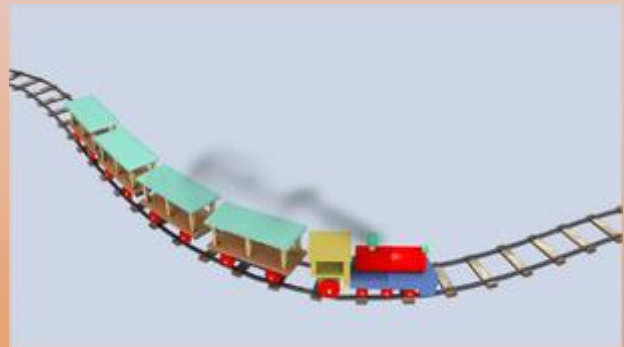


# Blender – Die Projekte

**Eisenbahn**

---

Henricus



Version 08. Februar 2016

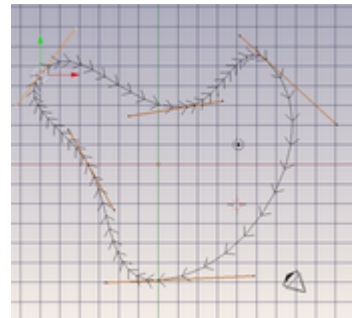
## Inhalt

Inhalt .....	1
1. Das Grundprinzip: Der Zug folgt einer Spur.....	2
Geschwindigkeit steuern.....	3
2. Installation der Schienen.....	5
3. Lokomotiven und Waggons: Holzspielzeug.....	6
Lokomotive.....	6
Waggons.....	8
4. Rauch.....	9
5. Drehende Räder.....	10
Lokomotive.....	10
Räder.....	11
Räder rollen – aber wie? .....	14
Antrieb der Lok .....	17

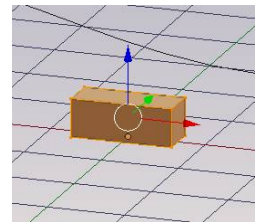
## 1. Das Grundprinzip: Der Zug folgt einer Spur

Um einen Eisenbahnzug in Blender realistisch fahren zu lassen, müssen wir zunächst das Grundprinzip begreifen, wie man mehrere Wagen hintereinander auf einer Spur fahren lassen kann. Die Details kommen später.

- Erzeugung der Spur:
  - Wähle die Ansicht **Top Ortho**: [Num5]
  - Installiere einen Circle: [shift] + [A] → **Curve** → **Circle**
  - Erzeuge im Edit Mode mehrere unregelmäßige Kurven, indem du an den Steuerungspunkten ziehst.



- Erzeugung der Wagen (zunächst nur als Kästen):
  - Installiere einen Cube: [shift] + [A] → **Mesh** → **Cube**
  - Skaliere den Cube: Insgesamt verkleinern und etwas verbreitern
  - Platziere den Ursprungspunkt auf die Mitte der Unterseite des Cube: Selektieren im Objekt Mode; wechsele in den Edit Mode; trage im Transport-Panel → Median ein: Z=1.0.

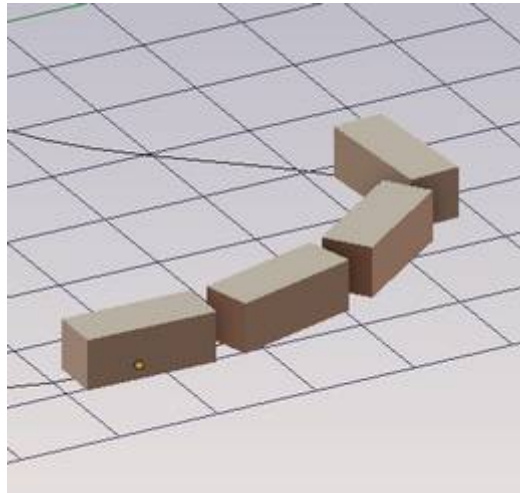


- Path Animation:
  - Selektiere den „Wagen“
  - Öffne das Constraint Panel (Kettenglied-Icon); wähle aus: **Follow Path**
  - Klicke in das Feld Target und wähle aus **BezierCircle**.
  - Setze ein Häkchen in das Feld **Follow Curve**.
  - Belasse es bei Y in der Zeile **Forward**
  - Klicke auf das Feld **Animate Path**
  - Starte die Animation (z.B. mit [alt] + [A]): Der Wagen folgt der Kurve.



- Weitere Wagen erzeugen:
  - Selektiere den Wagen und dupliziere ihn mit [shift] + [D]
  - Setze im Feld Offset des Panels Follow Path einen Wert ein, bei dem der neue Wagen in kurzem Abstand hinter dem ersten steht, z.B. 3.7 (Der passende Wert hängt davon ab, wie groß der Anfangs-Cube ist).

- Wiederhole das Duplizieren so oft, bis du alle Wagen des Zuges zusammengestellt hast. Der Offset-Wert muss jeweils ein Mehrfaches des ersten Wertes betragen, z.B. 7.4, 11.0 usw.
- Starte die Animation (z.B. mit [alt] + [A]): Der Zug folgt der Kurve mit allen Wagen:



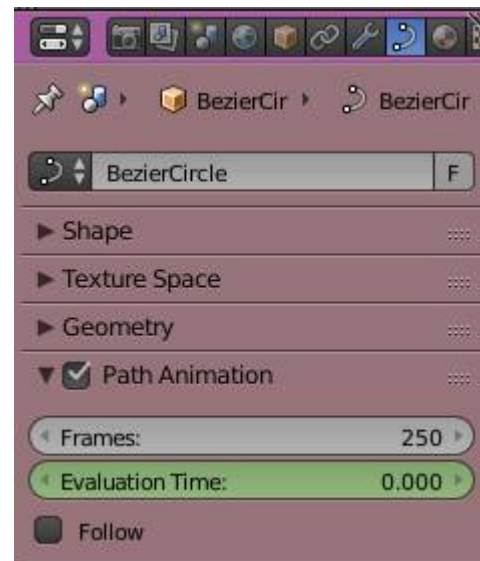
Das hier beschriebene Prinzip wird anschaulich (allerdings ohne Ton) dargestellt unter [https://www.youtube.com/watch?v=OM9Nso\\_ncEk](https://www.youtube.com/watch?v=OM9Nso_ncEk)

## Geschwindigkeit steuern

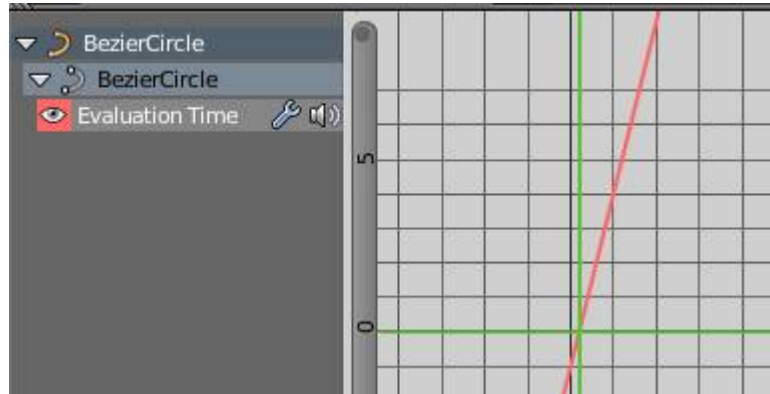
Es gibt mehrere Methoden, die Geschwindigkeit des Zuges zu steuern. Hier werden zwei vorgestellt.

### 1. Anzahl der Frames

- Standardmäßig hängt die Geschwindigkeit des Zuges von der Länge der Sequenz ab, also der Anzahl der Frames, über die sich die Bewegung erstrecken soll (Geschwindigkeit = Weg / Zeit). Wenn du in der Timeline den Wert End=250 auf End=500 setzt, ändert das allerdings nicht die Geschwindigkeit des Zuges. Der Zug fährt jetzt nur eben zwei Runden, wo er vorher eine fuhr.
- **Selektiere den BezierCircle.** Öffne in den Properties die zugehörigen Object Data (Kurven-Icon).
- **Öffne das Unterpanel Path Animation.**
  - Wenn du den Wert für **Frames** veränderst, hat dies unmittelbaren Einfluss auf die Geschwindigkeit des Zuges: erhöhst du den Wert, fährt der Zug langsamer. Wenn der Wert für **Frames** allerdings größer ist als der Wert für **End** in der Timeline, fährt der Zug nur solange, bis er den End-Wert erreicht hat. Willst du also den Schienenkreis vollständig umfahren, sollte End=Frames sein.
  - Auf die Werte im Feld **Evaluation Time** hast du zunächst keinen Einfluss. Dort ist jeweils die Nummer des Frames eingetragen, bei dem die Animation gerade angelangt ist – allerdings wird der entsprechende Wert erst dann eingetragen, wenn du die Animation stoppst. Wenn du dort Werte „per Hand“ einträgst, springst deine Bahn zu dem Frame, der diesem Wert entspricht.



- Teile den 3D Viewer waagrecht und rufe in der oberen Hälfte den **Graph Editor** auf. Links ist der **BezierCircle** angezeigt und wenn du das Menü aufklappst darunter die **Evaluation Time**. In dem Kurvenfeld siehst du eine rote Linie, die die Größe der **Evaluation Time** als Funktion von der Frame-Nummer anzeigt.

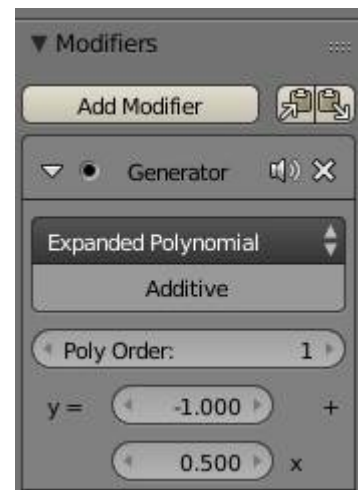


- Über die Taste [N] öffnest du rechts ein Fenster, indem diese Funktion als Formel angezeigt ist:

$$Y = -1.0 + 1.0 * X$$

- Probiere aus:
  - Wenn du den Faktor vor X verkleinerst (z.B. 0.5), wird die Steigung der Graden geringer. Die Bahn fährt langsamer.
  - Wenn du den Faktor vor X vergrößerst (z.B. 3.0), wird die Steigung der Graden größer. Die Bahn fährt schneller.

Insgesamt sind die Steuerungsmöglichkeiten mittels Kurvenfunktionen ziemlich begrenzt. Das gibt auch dann, wenn man Polynome höherer Ordnung verwendet.



## 2. Verwendung von Keyframes

- Lösche die Kurvenfunktion, indem du in der Zeile **Generator** auf das X klickst.
- Setze im Unterpanel Path Animation **Evaluation Time=0.0**, gehe mit dem Mauszeiger auf das Feld und drücke [I]. Damit ist der erste **Keyframe** gesetzt.
  - Stelle jetzt in der Timeline **Frame=50** ein und in der Path Animation **Evaluation Time=30.0**, d.h. bis zu Frame 50 bewegt sich der Zug ziemlich langsam.
  - Stelle bei Frame 100 **Evaluation Time=100.0**, d.h. bis zu Frame 100 wird der Zug deutlich schneller.
  - Stelle bei Frame 200 **Evaluation Time=140.0**, d.h. bis zu Frame 200 wird der Zug wieder langsamer.
  - Stelle bei Frame 250 **Evaluation Time=250.0**, d.h. am Ende wird der Zug wieder schneller.
- Die zugehörige Kurve im Graph Editor sieht dann aus, wie rechts gezeigt.
- Du kannst die einzelnen Punkte der Kurve auch durch Ziehen mit der Maus verändern und den Zug auf diese Weise z.B. rückwärtsfahren lassen.



## 2. Installation der Schienen

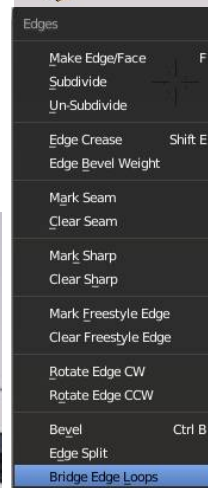
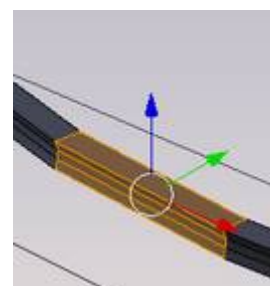
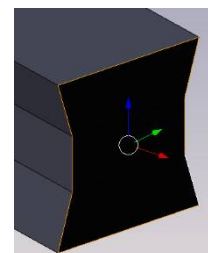
Die Spurbreite der Schienen muss zur Wagenbreite passen.

- Wähle die Top Ortho-Ansicht; selektiere den ersten Wagen schalte für den Moment den Constraint Follow Path aus, indem du auf das Auge klickst.
- Installiere einen Cube und skaliere ihn so, dass er als Schienenstück unter dem ersten Wagen zu liegen kommt.
- Füge zwei LoopCuts in Längsrichtung ein und skaliere sie etwas enger, damit die Schiene in Profil bekommt.
- Verwende den Mirror-Modifier, um das Schienenstück auf beiden Seiten zu platzieren. Drücke auf Apply.
- Erzeuge einen weiteren Cube und skaliere ihn so, dass er als Schwelle *über* die Schienenstücke zu liegen kommt. (Selbstverständlich müssen die Schwellen letztlich *unter* den Schienen liegen; das geschieht im nächsten Schritt nach Anwendung des Curve Modifiers.)
- Gib der Schiene und der Schwelle Farbe und Textur.
- Erzeuge ein Array: Add Modifier → Generate → Array
  - Count = 40 (vorläufig)
  - Relative Offset: X=0.0; Y=1.0
- Erzeuge einen Curve Modifier: Add Modifier → Deform → Curve
  - Object = Bezier Circle
  - Deformation Axis = -Y
- Vergrößere beim Array Modifier den Wert für **Count** so lange, bis der Schienenkreis fast(!) geschlossen ist.
- Klicke beim Array Modifier und beim Curve Modifier auf Apply.



5

- Suche die Schienenlücke auf und markiere im Edit Mode bei einer Schiene mit [alt] + RMT die umlaufende Kante; markiere die korrespondierende Kante beim gegenüberliegenden Schienenstück.
- Drücke [strg] + [E]. Es öffnet sich eine Auswahl von Befehlen zum Thema Edges. Wähle dort aus **Bridge Edge Loops**. Die Lücke wird geschlossen.
- Verfahre genauso bei der zweiten Schiene.



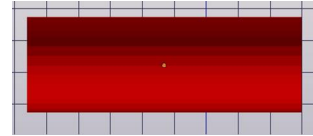
### 3. Lokomotiven und Waggons: Holzspielzeug

#### Lokomotive

Die nebenstehende Lokomotive ist relativ leicht zu bauen:

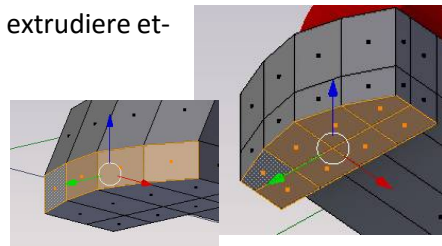
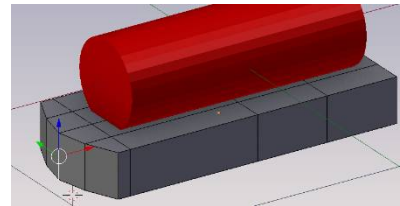
- Kessel:

- Erzeuge einen Zylinder;
- Drehe den Zylinder um  $90^\circ$  auf der Y-Achse
- Skaliere ihn auf die Dimensionen  $X=0.3; Y=0.3; Z=0.86$
- Färbe den Zylinder rot: Hex=FF0000

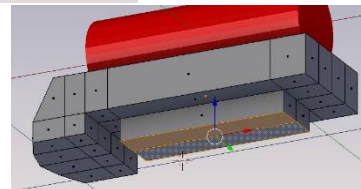


- Unterbau:

- Erzeuge einen Cube.
- Skaliere den Cube auf die Dimensionen  $X= 1.02; Y=0.44; Z=0.16$
- Platziere den Cube unter den Zylinder, so dass der Zylinder etwas in den Cube einsinkt.
- Füge drei LoopCuts in der Längsrichtung und vier in der Querrichtung ein.
- Ziehe die vorderen Edges etwas nach vorn.
- Selektiere die vorderen Flächen auf der Unterseite und extrudiere etwas nach unten.
- Selektiere bei diesem neuen Block die vorderen Flächen und ziehe sie etwas nach vorn.

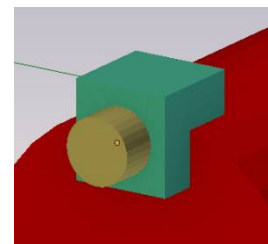


- Selektiere zwei Mittelfelder auf der Unterseite und extrudiere sie etwas nach unten. An diesem Block werden später die kleineren Räder der Lok befestigt.
- Färbe den Unterbau blau: Hex=6280BE



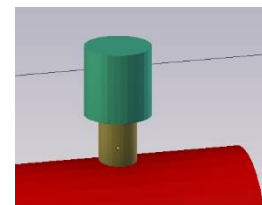
- Scheinwerfer:

- Erzeuge einen Cube; skaliere ihn auf  $X, Y, Z < 0.1$
- Platziere den Würfel an die vordere Oberkante des Zylinders.
- Färbe den Würfel grün.
- Erzeuge einen Zylinder; skaliere in kleiner als den Würfel; drehe den Zylinder  $90^\circ$  um die Y-Achse.
- Platziere den Zylinder an die Vorderseite des Würfels.
- Färbe den Zylinder gelb.



- Schornstein

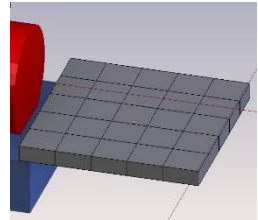
- Erzeuge einen Zylinder; skaliere ihn auf  $X, Y, Z < 0.1$
- Platziere den Zylinder auf dem letzten Viertel des Kessels.
- Wechsle in den Edit Modus und selektiere die Oberkante mit [alt] + RMT
- Drücke [E] (Extrudieren) und danach RMT; skaliere die Kante nach außen.
- Drücke [E]; [Z] und ziehe die Kante nach oben
- Selektiere die Flächen des unteren Teils des Schornsteins und färbe sie gelb.
- Selektiere die Flächen des oberen Teils des Schornsteins und färbe sie grün.



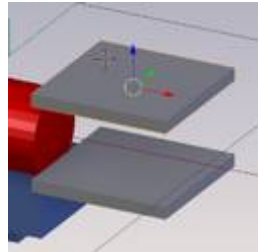


- Führerhaus

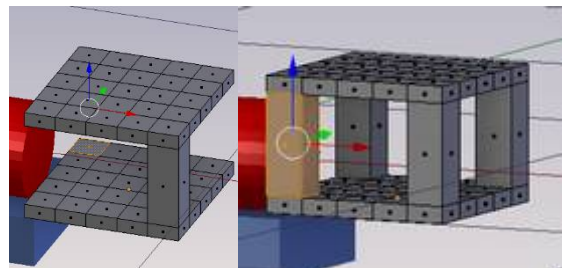
- Erzeuge einen Cube; skaliere ihn als quadratische flache Platte etwas breiter als den Unterbau.
- Wechsle in den Edit Mode und füge in der X- und der Y-Richtung jeweils vier LoopCuts hinzu.



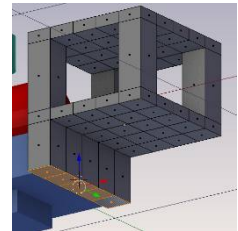
- Dupliziere diese Platte im Object Mode in Z-Richtung: [shift] + [D]; [Z] und ziehen mit der Maus.
- Selektiere die beiden Platten und verbinde sie mit **Join**. Von nun an handelt es sich für Blender um ein Objekt.



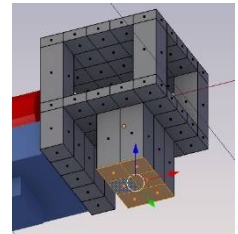
- Selektiere die einander (oben und unten) gegenüberliegenden Flächen an den Ecken, drücke dann [strg] + [E] → **Bridge Edge Loops**.
- Wiederhole dies an allen vier Ecken.



- Selektiere die hinteren Faces auf der Unterseite des Führerhauses und extrudiere bis auf die Unterkante des Unterbaus.

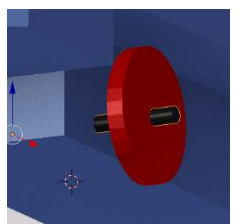
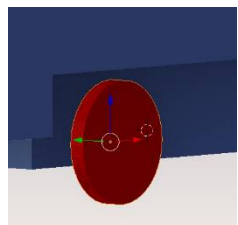


- Selektiere die mittleren Flächen auf der Unterseite und extrudiere diese etwas tiefer.
- Färbe das Führerhaus gelb.



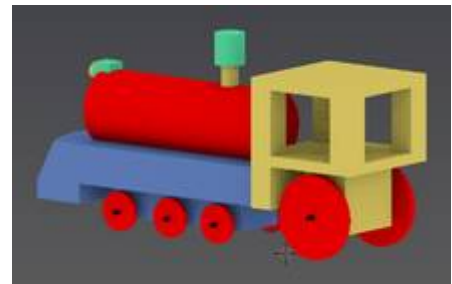
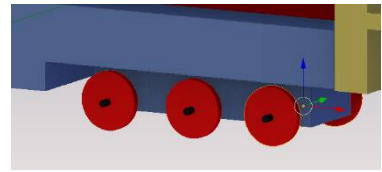
- Räder

- Erzeuge einen Kreis: [shift] + [A] → Mesh → Circle
- Rotiere den Kreis um die X-Achse mit 90°; fülle ihn im Edit Mode mit [F]
- Skaliere ihn so, dass er unter den Unterbau passt.
- Wende den **Solidify** Modifier an: **Thickness**= 0.25; drücke auf **Apply**.
- Färbe das Rad rot.
- Wende (im Edit Mode) den Mirror Modifier an: **Axis**=Z; drücke auf **Apply**.
- Füge einen Zylinder hinzu; rotiere um die X-Achse mit 90° und skaliere ihn so, dass er als Achse für die Räder dienen kann. Färbe die Achse schwarz.





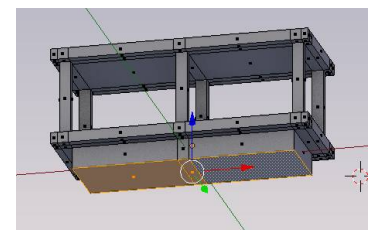
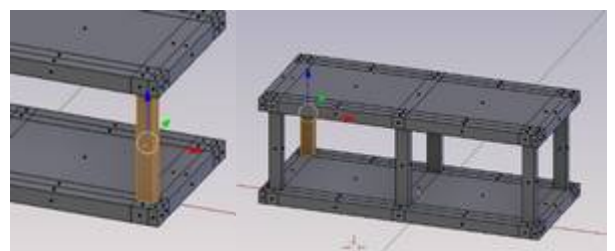
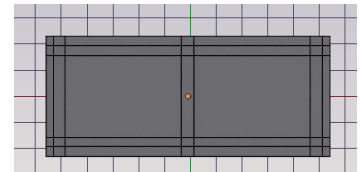
- Dupliziere das Räderpaar und die Achse und schiebe das Duplikat nach vorn.
- Selektiere das Original-Räderpaar und die Achse und verbinde alles mit Join.
- Dupliziere die Achse mit den Rädern zweimal und verschiebe die Räder unter dem Unterbau. Dupliziere ein Reserve-Räderpaar (für den Waggon) und verschiebe dies in eine anderen Layer.
- Selektiere jetzt das zuvor einzeln duplizierte Räderpaar und skaliere diese Räder größer. (Wenn der Abstand zu groß wird, skaliere mit [S]; [Y] wieder enger.)
- Platziere diese großen Räder unter das Führerhaus.
- Zusammenfügen
  - Selektiere alle Teile mit [A] und Verbinde sie mit **Join**.
  - Wechsle in den Edit Mode, selektiere alles mit [A] und drücke dann [strg] + [N], Damit sind alle Normalen nach außen gerichtet.



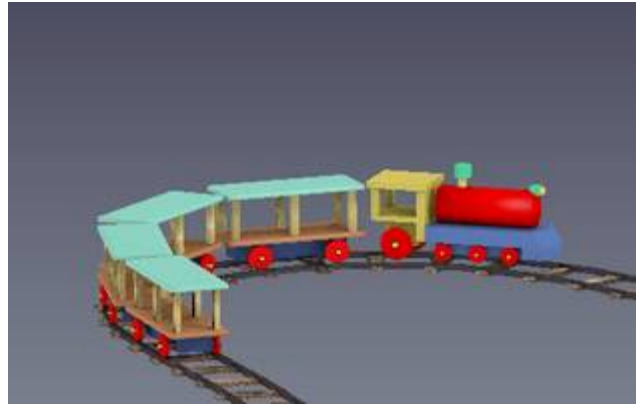
## Waggons

Bei der Modellierung des Waggons werden die gleichen Prinzipien wie bei der Lokomotive angewandt:

- Erzeuge einen Cube; skaliere ihn als rechteckige flache Platte in der Breite der Lokomotive.
- Wechsle in den Edit Mode und füge in der X-Richtung vier LoopCuts und in der Y-Richtung sechs LoopCuts hinzu. Richte die LoopCuts so aus, wie rechts gezeigt.
- Dupliziere diese Platte im Object Mode in Z-Richtung: [shift] + [D]; [Z] und ziehen mit der Maus.
- Selektiere die beiden Platten und verbinde sie mit **Join**. Von nun an handelt es sich für Blender um ein Objekt.
- Selektiere die einander (oben und unten) gegenüberliegenden Flächen an den Ecken, drück dann strg] + [E] → Bridge Edge Loops.
- Wiederhole dies an allen vier Ecken und in der Mitte.
- Selektiere die mittleren Flächen unter dem Wagen und extrudiere sie nach unten.
- Selektiere den Waggon im Object Mode und füge den **Bevel** Modifier hinzu. Drücke auf **Apply**.
- Gib den einzelnen Elementen unterschiedliche Farben.
- Verschiebe das Reserve-Räderpaar in den aktuellen Layer, dupliziere es und platziere die Räder unter dem Wagen. Selektiere Räder und Wagen und verbinde alles mittels **Join**.



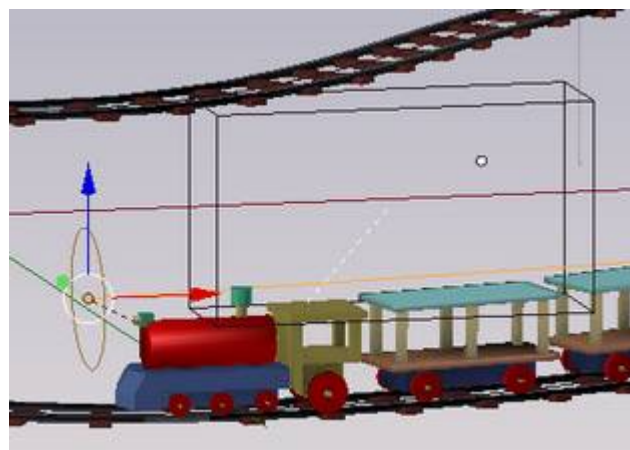
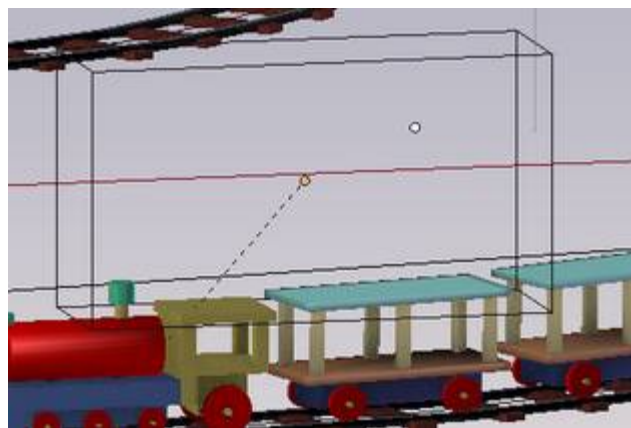
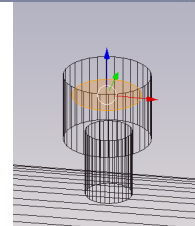
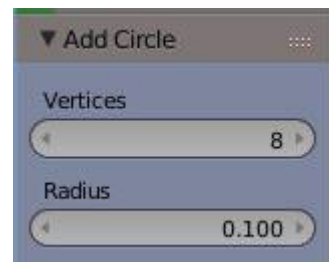
Jetzt musst du nur noch die Wagen duplizieren und alles auf die Schienen setzen, wie in Kap. 1 beschrieben – und schon fährt dein Zug im Kreis.



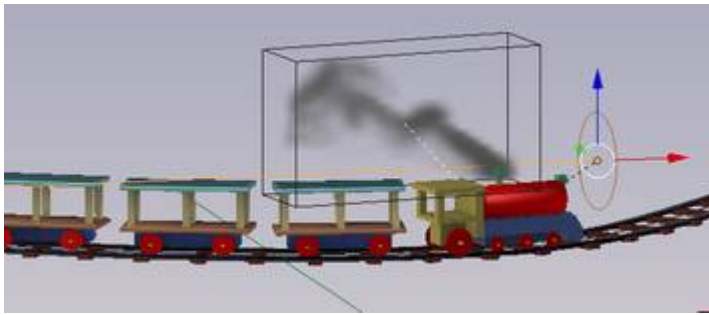
## 4. Rauch

Auch bei einer Holz Eisenbahn wirkt es sehr viel realistischer, wenn die Lokomotive Rauch ausstößt. Eine Möglichkeit hierzu bietet der **Smoke** Modifier.

- Erzeuge einen **Circle**; vermindere (links bei den Tools) die Anzahl der Vertices auf 8. Skaliere ihn kleiner als den Radius des Schornsteins auf 0.1 und platziere ihn im oberen Teil des Schornsteins. Nenne den Kreis *Raucherzeuger*.
- Stelle zwischen Raucherzeuger und Lok eine Child-Parent-Beziehung her: Selektiere den Raucherzeuger und danach die Lok; drücke [shift] + [P] → Set Parent to Object.
- Der Raucherzeuger ist selektiert. Drücke die [Leertaste] → [Q] → **Quick Smoke**.
- Verändere die Form der **Smoke Domain** in der Weise, dass deren Unterkante direkt unter dem Schornstein liegt, nach oben genügend Raum für den Rauch ist und sie nach hinten etwa bis zum ersten Wagen reicht.
- Stelle zwischen **Smoke Domain** und Lok eine Child-Parent-Beziehung her (s.o.).
- Erzeuge Wind: [shift] + [A] → Force Field → Wind.
- Drehe das Wind-Objekt um die Y-Achse mit 90° und platziere es direkt vor die Lokomotive.
- Stelle zwischen **Wind** und Lok eine Child-Parent-Beziehung her (s.o.).
- Gib im Wind-Unterpanel den Wert ein **Strength=15.0**.



- Starte die Animation mit [alt] + [A]: Der Rauch aus dem Schornstein wird vom Wind verweht.



10

## 5. Drehende Räder

Bei der Holzeisenbahn haben die Räder keine Speichen, daher ist es egal, ob sie sich drehen oder nicht – man kann die Drehbewegung ohnehin nicht sehen.

Anders ist es bei einer realistischeren Bahn mit Speichenrädern; dort sieht man, ob die Räder sich drehen, oder ob sie nur über die Schienen rutschen.

### Lokomotive

Als Muster bzw. Vorbild für eine Lokomotive kannst du die *Heißdampf-Schnellzuglokomotive der Kgl. aPreußischen Staatsbahnen* nehmen, die du bei Wikipedia findest:

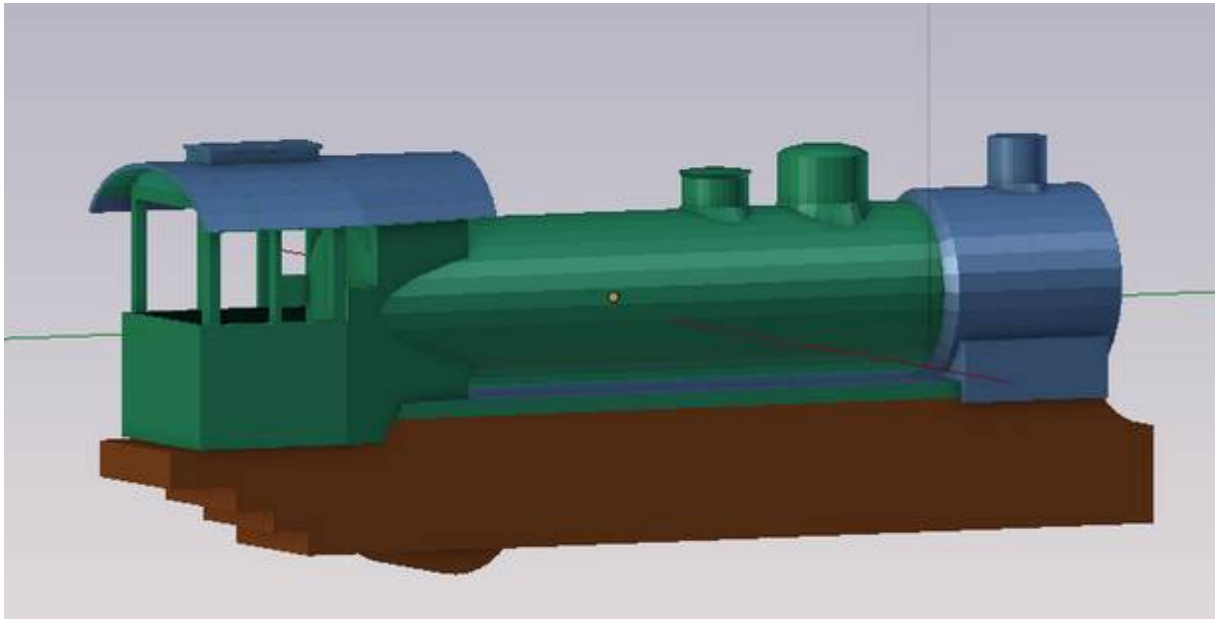
<https://de.wikipedia.org/wiki/Dampflokomotive>



Du findest im Internet natürlich eine Fülle anderer Lokomotiven, die sich als Muster eignen.

Bei der Modellierung kann zwischen folgenden Elementen schematisch unterschieden werden:

- Unterbau (hier braun eingefärbt)
- Kessel (hier grün und blau eingefärbt)
- Führerhaus (hier grün und blau eingefärbt)
- Diverse Rohre und Leitungen
- Antriebskolben und Gestänge
- Räder



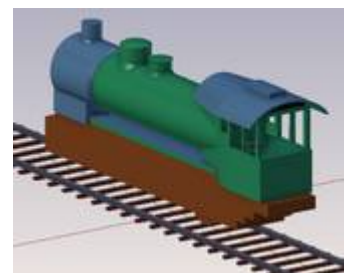
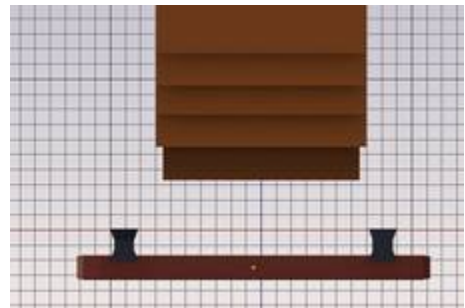
11

Die Modellierung der Einzelemente bis hierhin kannst du ohne weitere Anleitung vornehmen. Wir konzentrieren uns hier vor allem auf die Räder.

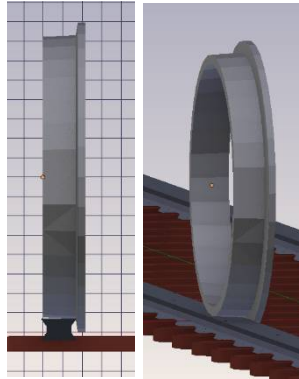
## Räder

### Schienen

- Zunächst brauchen wir **Schienen**. Benutze dazu das Schienenstück der Holzbahn. Platziere dieses Schienenstück in der Frontansicht unter das bisherige Teilmodell der Lok, um die passende Spurbreite zu finden. Skaliere das Stück jetzt so, dass die Schienen außerhalb des Umrisses der Lok verlaufen.
- Wende jetzt den **Array** Modifier an und verlängere das Schienenstück etwa 50mal.

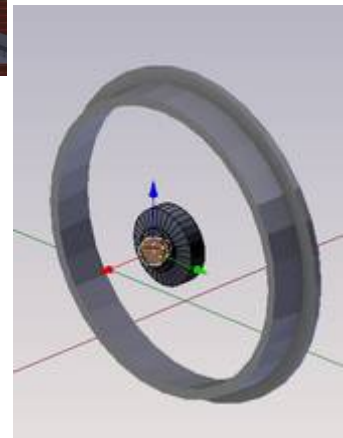


- Erzeuge als Nächstes einen **Circle**. Passe dessen Größe unter Zuhilfenahme des Hintergrundbildes an eines der großen Räder an.
- Modelliere das Radprofil in der Weise wie

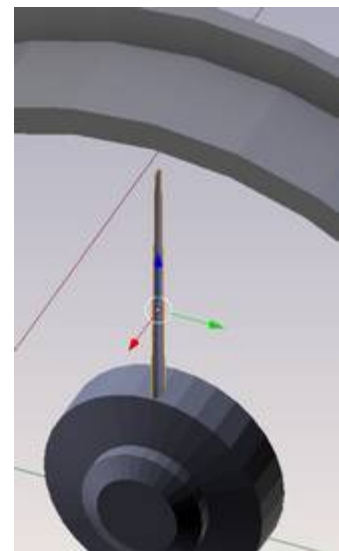


hier gezeigt:

- Erzeuge die Radnabe in der Mitte des Rades – wieder mittels eines **Circles**, der mehrfach extrudiert wird.



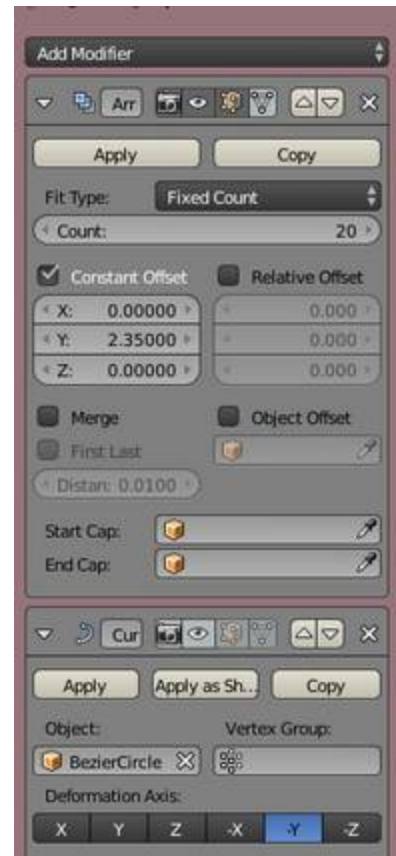
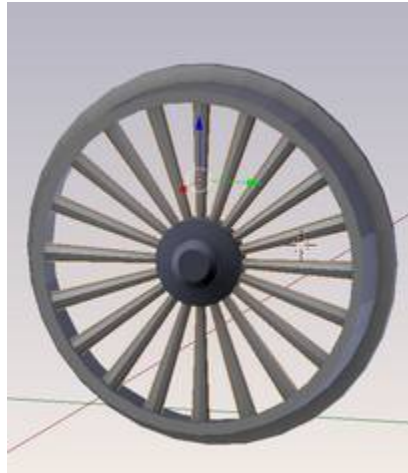
- Jedes der großen Räder soll 20 Speichen haben.
  - Erzeuge einen **Cylinder** mit 8 Kanten.
  - Platziere den **Cylinder** zwischen Nabe und Randkranz.
  - Skaliere den **Cylinder** so, dass der Durchmesser in der Y-Richtung wesentlich kleiner ist als in der X-Richtung.





- Füge einen **Array** Modifier hinzu: **Count=20**.
- Füge einen **Curve** Modifier hinzu: **Object=BezierCircle**;  
**Deformation Axis=-Y**

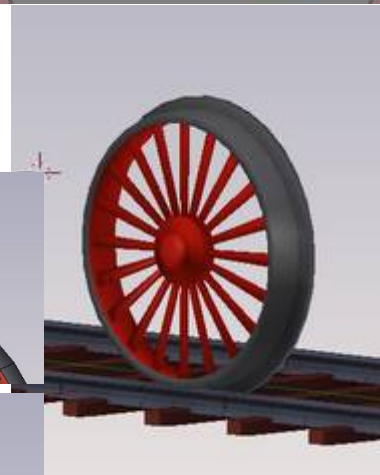
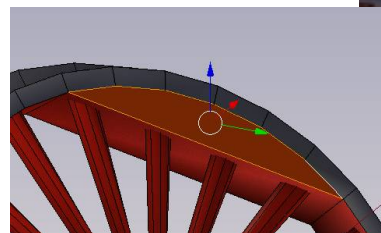
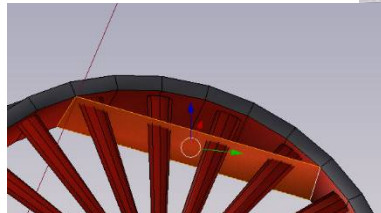
- Das Ergebnis:
- Du siehst, dass die Speichen außen immer noch etwas breiter sind als innen.  
Zugegeben: es ist eine ziemliche Fummelei, bis man die richtigen Größenverhältnisse herausgefunden hat.



- Drücke bei beiden Modifiern auf **Apply**.
- Verbinde die Speichen mit dem übrigen Rad durch **Join**.
- Färbe die Lauffläche grau, Nabe, Speichen und Innenseite rot.
- Wende im Object Mode **Smooth** an.
- Das Ergebnis bisher:
- Dupliziere das Rad: Die beiden mittleren Räder erhalten ein Gegengewicht, das hintere bleibt ohne.

- Füge bei einem Rad das Gegengewicht ein:

- Markiere am oberen Innerrand zwei Edges und verbinde sie dann mit [F].
- Markiere jetzt die Kante um das Kreissegment und drücke [F].
- Verfahre genau so an der Rückseite.



- Achse:

- Dupliziere das Rad mit Gegengewicht.
- Drehe das Duplikat um 180° um die Z-Achse und füge es auf der gegenüber liegenden Schiene ein.
- Verbinde die beiden Naben mit einem **Cylinder**. (8 Kanten reichen aus.)
- Gib der Achse die Farbe der Schienen und drücke auf **Smooth**.
- Verbinde die Achse mit den beiden gegenüber liegenden Rädern durch **Join**.
- Dupliziere die Achse.

- Dupliziere das Rad ohne Gegengewicht und verbinde beide Räder mit einer Achse.

## Kleine Räder

14

- Erzeuge einen **Circle**. Passe dessen Größe unter Zuhilfenahme des Hintergrundbildes an eines der kleinen Räder an.
- Konstruiere die Speichen auf die gleiche Weise wie bei den großen Rädern. Beachte, dass die kleinen Räder nur 10 Speichen haben.
- Setze zwei kleine Räder auf eine Achse und dupliziere die Achsen mit den kleinen Rädern.
- Verschiebe alle Achsen anhand des Hintergrundbildes in die richtige Position.

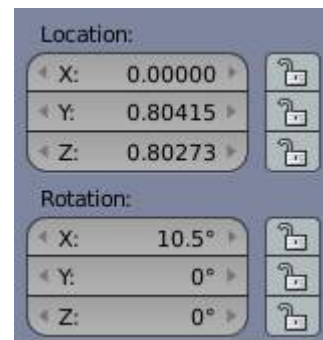


## Räder rollen – aber wie?

Um die Vorgehensweise zu demonstrieren, wie du die Räder auf realistische Weise rollen lassen kannst, wird zunächst nur ein Räderpaar auf einer Achse betrachtet.

### Verhältnis zwischen Radumfang, Schienenlänge und Anzahl der Radumdrehungen

- Selektiere die Achse und platziere den Cursor in deren Mitte: [shift] + [S] → **Cursor To Selected**.
- Füge ein Empty ein: [shift] + [A] → **Empty** → **Axis**.
- Selektiere die Achse mit RMT und danach das Empty mit [shift] + RMT
- Mache das Empty zum Parent und die Achse zum Child: [strg] + [P] → **Set Parent To Object**.
- Selektiere das Parent und verändere im Feld Rotation den X-Wert: Du siehst, dass sich die Räder dem Eintrag entsprechend drehen.



Der Schienenstrang meiner „Versuchsstrecke“ ist 30 Blendereinheiten (=30m) lang. Wie oft muss sich das Rad drehen, um diese Strecke zu bewältigen? Die Anzahl der nötigen Umdrehungen hängt offensichtlich mit dem Umfang des Rades in dieser Weise zusammen:

$$\text{Anzahl der Umdrehungen} = \text{Strecke} / \text{Radumfang}$$

Wir kennen allerdings den Radumfang  $U$  nicht, sondern nur dessen Durchmesser  $D$ . Nun kennen wir noch aus dem Geometrieunterricht die Formel:  $U = D * \pi$ , wobei  $\pi = 3.141 \dots$

Der Durchmesser meines Rades beträgt 1,596m, allerdings ist der Durchmesser der Lauffläche etwas geringer. Wenn ich davor einen Hilfskreis projiziere, der das Rad in Höhe der Lauffläche abdeckt, komme ich auf 1,45m. Der Umfang beträgt demnach

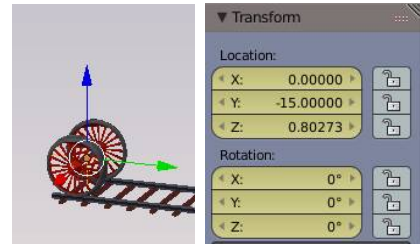
$$U = 1,45 * 3,141592\dots = \mathbf{4,56m}$$



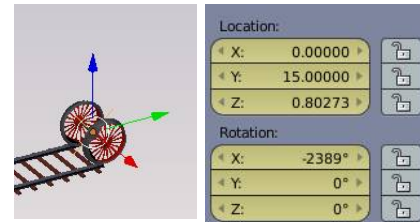
Für die Strecke von 30m benötigt das Rad also  $30 / 4,56 = 6,58$  Umdrehungen.

Da Blender nun allerdings nicht mit Umdrehungen, sondern mit Winkelgrad rechnet und ein Vollkreis  $360^\circ$  beträgt, gilt:  $6,58 * 360 = 2389^\circ$ .

- Schiebe das Rad an den Anfang der „Versuchsstrecke“ und trage bei der Rotation ein  $X = 0^\circ$ ; drücke bei Frame 1 [I]



- Gehe zu Frame 250 und schiebe das Rad an das Ende der „Versuchsstrecke“; trage bei der Rotation ein  $X = 2389^\circ$ ; drücke [I].



- Drücke [alt] + [A] und starte so die Simulation; Das Räderpaar rollt realistisch über die Schienen, ohne zu rutschen.

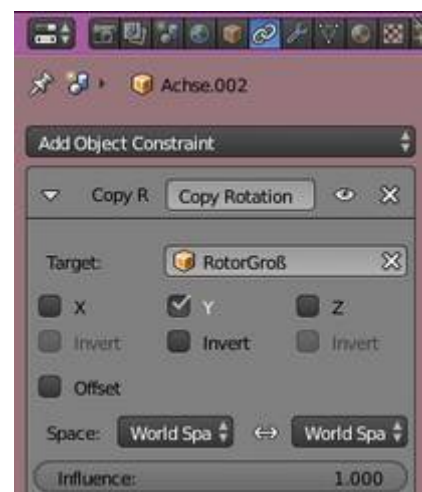
- Nach dem gleichen Prinzip sollte auch die nötige Anzahl der Umdrehungen für die kleinen Räder berechnet werden:

- Durchmesser = 0.85.
- Umfang =  $0.85 \times 3.14 \dots = 2,67\text{m}$
- Umdrehungen:  $30 / 2,67 = 11,24$
- In Winkelgrad:  $11,24 \times 360 = 4046^\circ$

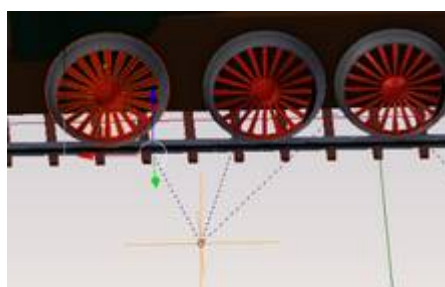
### Rotation eines kompletten Radsatzes

Die Rotation der Räder muss nicht einzeln eingestellt werden, sondern kann gemeinsam mit Hilfe von Constraints festgelegt werden. Das hat den Vorteil, dass Änderungen der Drehgeschwindigkeit nur an dem Constraint erfolgen müssen. Bei den folgenden Erläuterungen wird davon ausgegangen, dass sich die Lokomotive entlang der Y-Achse um 20m bewegt.

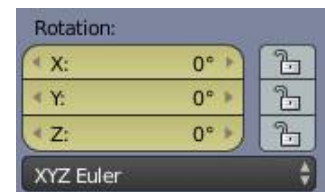
- Füge ein Empty hinzu und nenne dies *RotorGroß*.
- Verbindung einer Achse mit *RotorGroß*.
  - Selektiere eine Achse mit großen Rädern.
  - Klicke auf das Icon mit den beiden Kettengliedern → **Add Object Constraint** → **Copy Rotation**.
  - Trage ein: Target = RotorGroß; Häkchen bei Y.
  - Wenn du jetzt das Empty RotorGroß selektierst und dann um die Y-Achse rotierst, siehst du, wie sich das Rad mitbewegt.



- Verbinde jetzt die übrigen Achsen mit großen Rädern auf die gleiche Weise mit dem Empty RotorGroß.



- Auf die gleiche Weise kannst du mit den kleinen Rädern verfahren: Einfügen eines Empty *RotorKlein*; verbinden den Achsen der kleinen Rädern mit diesem Empty. Die Verwendung eines zweiten Empty ist wegen der unterschiedlichen Rotationsgeschwindigkeiten bei großen und kleinen Rädern erforderlich.
- Die Lokomotive legt auf dem Schienenstück (wegen ihrer Eigenlänge) eine Strecke von 20m zurück. Das bedeutet:
  - Für die großen Räder:  $20 / 4.56 = 4,39$  Umdrehungen; entsprechen  $1579^\circ$ .
  - Für die kleinen Räder:  $20 / 2.67 = 7,49$  Umdrehungen; entsprechen  $2697^\circ$ .
- Gehe zu Frame 1 und trage sowohl für RotorGroß als auch für RotorKlein in allen Rotationsfeldern den Wert 0 ein; gehe mit der Maus über die Felder und drücke [I].



- Gehe zu Frame 250 und trage für RotorGroß den Wert Y=-1579 und für RotorKlein Y= -2697 ein; gehe jedes Mal mit der Maus über die Felder und drücke [I].

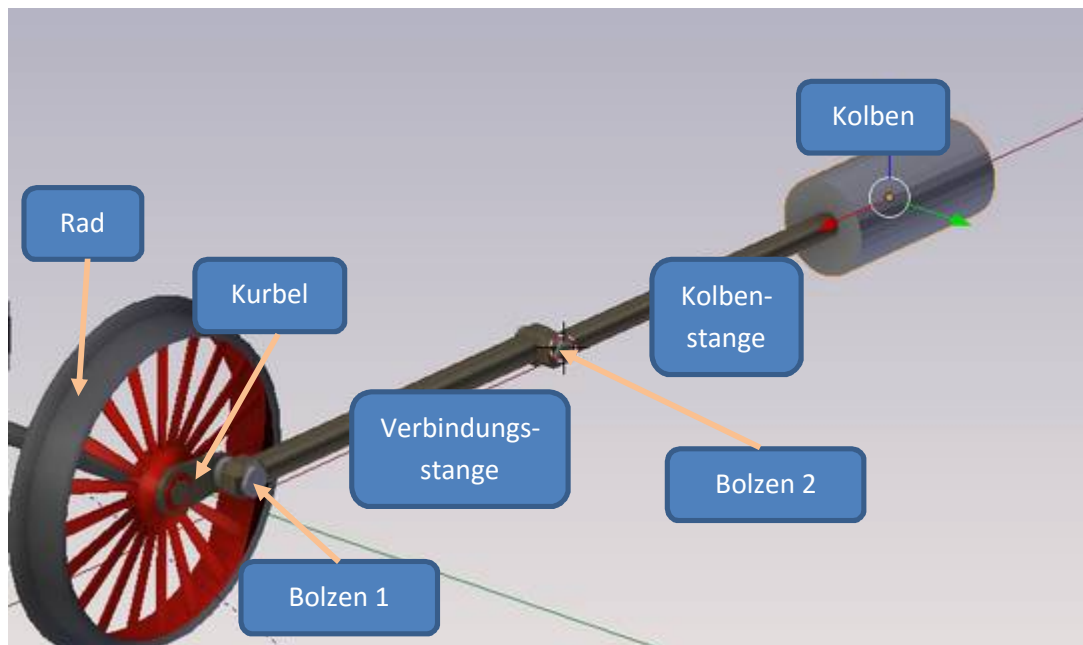


- Bis jetzt drehen sich nur die Räder. Selektiere alle Achsen und zum Schluss die Lokomotive. Drücke [strg] + [P] → Object. Damit ist die Lokomotive Parent und die Räder deren Children. Trage jetzt für die Lokomotive bei Frame 1 am Anfang der Strecke X=0 und bei Frame 250, also am Ende der Strecke X=-20 ein. Setze jedesmal einen Keyframe, indem du [I] drückst. Du kannst darüber hinaus die beiden Empty-Rotoren mit der Lok „verparenten“, dann kommen die immer mit. Notwendig ist das aber nicht.

## Antrieb der Lok

In der wirklichen Welt kannst du keine Lokomotive in Bewegung setzen, indem du die Räder mit einem Empty verbindest. Bekanntlich braucht man dazu eine Dampfmaschine und zur Übertragung der Kraft einen Dampfzylinder, Kolbenstange, Treibstange und noch eine Reihe weiterer mechanischer Einrichtungen.

- Für die Erläuterungen beschränke ich mich auf eine Achse. Es werden folgende Teile unterschieden:
  - **Rad** auf der Achse
  - **Kurbel**, die an der Radnabe befestigt ist
  - **Kolben**, in den der Dampf eingeleitet wird
  - **Kolbenstange**, die vom Dampf im Kolben bewegt wird
  - **Verbindungsstange** zwischen Kolbenstange und Kurbel
  - **Bolzen 1** zur Verbindung zwischen Verbindungsstange und Kurbel
  - **Bolzen 2** zur Verbindung zwischen Verbindungsstange und Kolbenstange



- Das Empty mit der Bezeichnung *RotorGroß* hatten wir schon eingebaut. Es bewegt die Achse mit den beiden Rädern (um die Y-Achse).
- Selektiere jetzt *Kurbel*, *Bolzen 1* und das *Rad*; drücke [strg] + [P] → Object. Jetzt drehen sich *Kurbel* und *Bolzen 1* mit dem *Rad* mit.
- Selektiere jetzt *Bolzen 2* und dann die *Kolbenstange*; drücke [strg] + [P] → Object. Wenn jetzt die *Kolbenstange* bewegt wird, folgt *Bolzen 2* der Bewegung.
- Selektiere die *Kolbenstange*; klicke auf den Constraint-Panel (Kettenglieder) → Add Constraint → Relationship → Child of; trage als **Target** *Bolzen 1* ein; lösche alle Häkchen außer **Location X**; klicke auf **Set Inverse**.
- Selektiere die *Verbindungsstange* und verstecke sie, indem du in den Properties auf das Auge neben der *Verbindungsstange* klickst. Wenn du jetzt das Empty *RotorGroß* um die Y-Achse rotierst, bewegt sich die *Kolbenstange* hin und her. Mache die *Verbindungsstange* wieder sichtbar.

- Selektiere Bolzen 1 und drücke [shift] + [S] → Snap → Cursor to Selected. Selektiere dann die *Verbindungsstange* und drücke die Schaltfläche **Set Origin** → **Origin to 3D Cursor**. Jetzt liegt der Drehpunkt der *Verbindungsstange* bei *Bolzen 1*.
- Die *Verbindungsstange* ist immer noch selektiert; klicke auf den Constraint-Panel (Kettenglieder) → Add Constraint → Relationship → Child of; trage als **Target Bolzen 1** ein; klicke auf **Set Inverse**.
- Die *Verbindungsstange* ist immer noch selektiert; füge ein weiteres Constraint hinzu → **Tracking** → **Locked Track**; trage als **Target Bolzen 2** ein; klicke in der Zeile **To** auf **Z**; klicke in der Zeile **Lock** auf **Y**.
- Wenn du die Animation jetzt startest, bewegen sich die einzelnen Teile der Maschinerie auf realistische Weise.

Eine Erläuterung dieses Grundprinzips zur Modellierung in Blender findest du hier:

<https://vimeo.com/46063136>

Die beste Animation, die ich hierzu gefunden habe ist der *Flying Scotsman*:

<https://www.youtube.com/watch?v=mzCzYoNy9gQ>

Allerdings bin ich nicht sicher, ob der *Flying Scotsman* in Blender modelliert wurde.