



Problemstellung :

Das stehende Fahrrad lenkt geradeaus und wird durch einen Helfer „kräftefrei“ gegen Umfallen gestützt.

An der senkrecht nach unten zeigenden Pedale ist ein Seil befestigt, an dem waagrecht nach hinten gezogen wird.

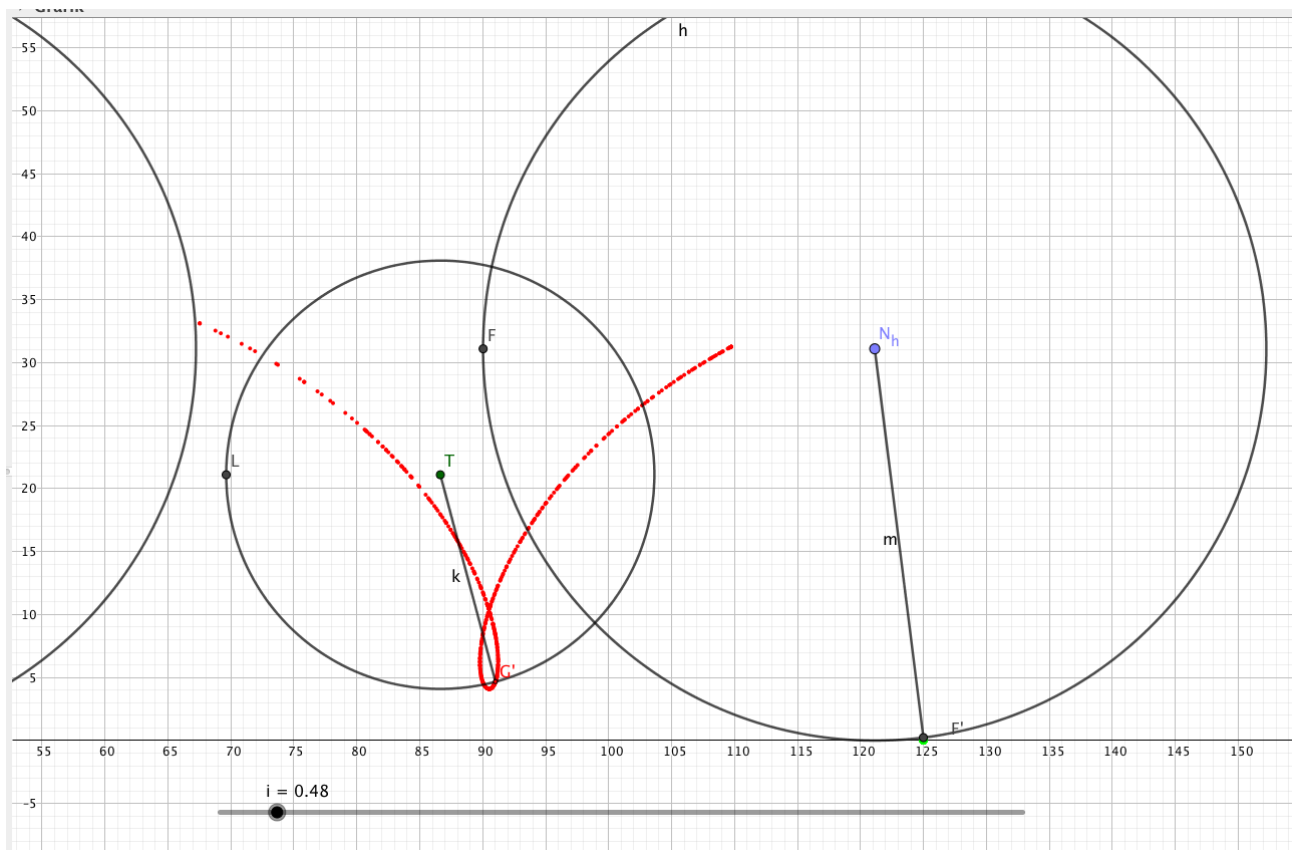
Bewegt sich das Fahrrad ?

Falls ja, in welche Richtung ?

Lässt sich dies auch zwingend begründen ?

Das meist deutliche Verblüffung auslösende Ergebnis, das Fahrrad bewegt sich nämlich (i.d.R.) rückwärts, ist als recht kurzes Video unter dem URL <https://www.youtube.com/watch?v=2MLuLQZ1p8o> zu sehen, dort ohne weiterhelfende Argumente.

Aufschluss über das Problem sollte eine Geogebra-Datei geben können.
Ausdruck aus 171022_Fahrrad_v4.ggb :



Die Hinterradnabe N_h ist einziger freier Punkt, d.h. er ist „ziehbar“. Er ist gebunden an eine Strecke parallel zur x-Achse, Abstand ist 14". In festem Abstand davon ist links davon in gleicher Höhe die Vorderradnabe N_v als abhängiger Punkt dargestellt, dazwischen in geschätzter Position das Tretlager T mit geschätzter Pedallänge k. Auf den Kreisen laufen Punkte am Ende der Radien m und k. Die Winkelposition dieser Peripheriepunkte E' und G' wird ermittelt aus der horizontalen Verschiebung von N_h gegenüber einem Referenzwert $x=125$. Der Abstand aufeinander folgender Berührungspunkte von E' mit der x-Achse entspricht genau dem Umfang des 28 Zoll-Laufrads, also ist hiermit ein schlupffreies Abrollen modelliert. Ein Schieberegler i bildet ein stufenloses Schaltgetriebe nach, das Verhältnis der Zahnanzahlen von Kettenblatt und Ritzel als Übersetzung wird hier dargestellt. Entscheidend ist nun das Erstellen der „Spur“ des Pedalpunkts G' .

Diese Spur lässt sich interpretieren als quasi eindimensionale „Zwangsbahn“ der Pedale bei jedweder Bewegung des Fahrrads. Bei Einwirkung einer Kraft von außen kann es sich stets nur so bewegen, dass G' der Bahnvorgabe folgt, sonst stellt sich Schlupf ein (der Hinterreifen „rutscht“). Die Spurkurve ist eine Zykloide, deren Form von i abhängt.

Die Übersetzung i ($i = 0.48$) für einen extremen „Berggang“ bewirkt eine Entfaltung E von $E = i * U$; bei 28"-Rädern ist $U = 195$ cm, also bewirkt hier eine Umdrehung der Kurbel $E = 94$ cm.

Es sind als Zahnanzahlen im Handel verfügbar : Kettenblatt 15 Z. / Kassette 42 Z. . (Ob tatsächlich so zusammen verbaubar oder verbaut, ist mir unbekannt.)

Damit wäre $i = 0.36$ zu erreichen.

Die hier beteiligten Radien $m = 311$ mm (28"-Hinterrad) und $k = 170$ mm (Kurbellänge - Rechercheangabe) liefern als Wert $g = k/m = 0.5466$ für den Übergang von verkürzter(1) zu verlängerter(2) Zykloide. Im Bild oben ist der Fall (2) dargestellt. Diese erhält man als Bahnkurve für die Pedalachse G' , wenn die Laufräder schlupffrei auf der Unterlage abrollen. Der Faktor i beschreibt n.K. auch das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten von Kurbel und Laufrad.

Bemerkungen zu Technischem :

es tritt kein Blockieren beim Rückwärtsrollen auf, es wirkt auch kein Rücktritt; sondern die Kette ist im oberen Abschnitt straff gespannt, sie überträgt dabei einen „Impulsstrom“, bei (1) vom Hinterrad zur Kurbel, bei (2) von der Kurbel zum Hinterrad; am Übergangswert für g könnte eine Blockade vorliegen (Zykloide mit sehr steilen, gar vertikalen(?) Tangenten);

Wir benutzen und kennen das Fahrrad aus dem „Fahrrad-Bezugssystem“ und nicht aus dem Außen-Bezugssystem, welches hier entscheidend ist. Dies narrt vermutlich die Intuition.

Alles wäre so viel einfacher gewesen, wenn wir das Seil am Sattel befestigt hätten !!