

Bsp.: Ein bestimmter Flaschenzug<sup>2</sup> bewirkt, dass die Kraft dadurch ver-10-facht wird. Um wie viel weniger wird die Last gehoben?

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \quad | :d_2, :F_2$$

$$F_1 : F_2 = d_2 : d_1$$

D.h., das Verhältnis der Kräfte und der Längen ist umgekehrt worden.<sup>3</sup>

Also wird die Last um nur 1/10 gehoben.

Aufg.: Du ziehst an einem Flaschenzug mit 50 N. Die Last hebt sich um 0,7 m, während du 3,5 m Seil aufgenommen hast. Wie groß ist die Last?

$$0,7/3,5 = 1/5 \text{ der Distanz, also 5fache Kraft: } 250 \text{ N}$$

1 Ein schönes Erklärvideo: 0:00-4:50 von [youtube.com/watch?v=nm7\\_k6Lf6OE](https://youtube.com/watch?v=nm7_k6Lf6OE) Solltest du im Unterricht fehlen, zeichne die Skizzen in der Reihenfolge ab, wie sie dieser Lehrer erklärt.

2 ein anderer als die oben gezeichneten.

3 Das gilt für jeden Flaschenzug und ist im Prinzip die *goldene Regel der Mechanik*. Wenn man also z.B. 3mal so viel Seil ziehen muss, so ist die nötige Kraft nur ein Drittel. Beachte freilich: Wir lassen hier Reibungskräfte immer aus dem Spiel. In Wirklichkeit braucht man also etwas mehr Kraft.

Im Versuch zeige ich eine lose Rolle und einen Flaschenzug. Wenn du gefehlt hast, siehe das Video:

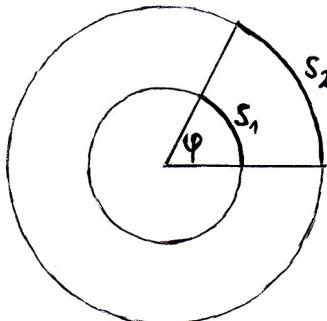
[youtube.com/watch?v=da\\_NulHqwLo](https://youtube.com/watch?v=da_NulHqwLo) (Allerdings stimmt nicht, dass das Mädchen mehr *Arbeit* leisten muss, sie muss nur länger ziehen!)

# Rotationsbewegung

## Kreisbewegung

Bsp.

- Kinderkarussell: Die inneren Kinder bewegen sich entlang eines kürzeren Weges als die äußeren.<sup>4</sup>
- Plattenspieler: Eine Fliege, die sich drauf setzt, bewegt sich umso schneller, je weiter sie vom Drehpunkt entfernt ist.



5

Größen und Formeln<sup>6</sup>:

Die Bahngeschwindigkeit ist hier weiterhin  $v = \frac{s}{t}$ , wobei hier  $s$  entlang eines Kreises mit Radius  $r$  verläuft.

Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  [omega]<sup>7</sup>:

Welchen Winkel  $\phi$  [phi] überstreicht eine Drehbewegung pro Sekunde? In der Zeichnung z.B. ca.  $60^\circ/s$ .<sup>8</sup> Man verwendet aber nicht das Gradmaß, sondern das Bogenmaß, das die Einheit Radian (rad) hat.

Umrechnung:  $360^\circ \triangleq 2\pi$ <sup>9</sup>,  $180^\circ \triangleq \pi$ ,  $90^\circ \triangleq \pi/2$ ,  $60^\circ \triangleq \pi/3$ .<sup>10</sup>

Bsp. der Zeichnung:  $\omega \approx \pi/3 \text{ s}^{-1}$ <sup>11</sup>

4 Ich meine soetwas: [youtube.com/watch?v=1-xe3wGNLqI](https://www.youtube.com/watch?v=1-xe3wGNLqI)

5 Schau dir vom Video [youtube.com/watch?v=YiccUDeaZIA](https://www.youtube.com/watch?v=YiccUDeaZIA) die Animation im Bereich 8:20 bis 8:40 an.

In meiner Zeichnung bewegen sich die Punkte einen Winkel  $\phi$  [phi] weit. Der innere über eine Strecke  $s_1$  und der äußere über eine längere Strecke  $s_2$ . Wie wir gleich sehen werden, hat der äußere eine höhere Bahngeschwindigkeit als der äußere. Beide haben aber die gleiche Winkelgeschwindigkeit.

Bitte mit Zirkel abzeichnen und diesen auch im Unterricht mitnehmen!

6 Die Kreisbewegung ist eigentlich nichts Schwieriges. Es kommen nur jetzt viele neue Größen vor, die du wahrscheinlich fast alle nicht kennen wirst. Also gut mitdenken und mitlernen!

7 Sag zu omega niemals w! Das zeugt von Inkompetenz.

8 ... wenn man annimmt, dass diese Bewegung genau 1 s gedauert hat.

9 Das klingt nun schon etwas komisch:  $360^\circ$  soll  $2\pi \approx 6,28$  entsprechen! Tatsächlich lernt man in der Mathematik, dass dies der Umfang des Kreises mit Radius 1 ist:  $u = 2\pi r = 2\pi \cdot 1$ . Nebenbei schreibt man die Einheit rad meist gar nicht hin. Es ist also gewöhnungsbedürftig. Zur Vereinfachung kann man sich auch merken, dass eine volle Umdrehung ( $360^\circ$ ) grob gerundet 6 rad entspricht, eine halbe ( $180^\circ$ ) 3 rad und ein rechter Winkel ( $90^\circ$ ) 1,5 rad.

10 also einfach Schlussrechnung. Schau dir evtl. das Video [youtube.com/watch?v=3CH6MGdzZcw](https://www.youtube.com/watch?v=3CH6MGdzZcw) im Bereich 3:03 – 4:26 an.

11 Zur Erklärung:  $60^\circ$  sind  $\pi/3$ . Dann schreibt man nicht rad/s, sondern lässt rad weg und es bleibt 1/s übrig. Das schreiben wird als Potenz, und es bleibt  $s^{-1}$ . Nicht ganz einfach. In Kürze: Merk dir: Die Einheit der Winkelgeschwindigkeit ist  $s^{-1}$ , und gemeint ist ein Bogenmaß-Winkel pro Sekunde.

Wenn man die Bahngeschwindigkeit weiß, kann man  $\omega$  sehr leicht mit folgender Formel<sup>12</sup> ausrechnen:  $v = \omega \cdot r$

Frequenz f: Wie oft dreht es sich pro Sekunde?

Einheit: Umdrehungen/s oder besser Hz (Hertz)<sup>13</sup>.

Gilt für jeden Teil eines rotierenden Körpers.<sup>14</sup>

Bsp.: Plattenspieler  $f = 0,5$  Hz (also ca.  $\frac{1}{2}$  U/s)<sup>15</sup>

Automotor bei Vollgas:  $f = 100$  U/s

$\omega$  lässt sich aus  $f$  sehr leicht berechnen:  $\omega = 2\pi \cdot f$  <sup>16</sup>

Periodendauer T: wie lange eine Umdrehung dauert:  $T = \frac{1}{f}$  <sup>17</sup>

Bsp. Wir lassen das Laufrad eines Fahrrads<sup>18</sup> frei rotieren.

Die Bahngeschwindigkeit der Reifenoberfläche<sup>19</sup> soll  $v = 18$  km/h = 5 m/s sein. Der Radius ist 32 cm = 0,32 m.

- Winkelgeschwindigkeit:  $v = \omega \cdot r \Rightarrow \omega = \frac{v}{r} = \frac{5}{0,32} = 15,625 \text{ s}^{-1}$  <sup>20</sup>

- Frequenz:  $\omega = 2\pi \cdot f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{15,625}{2\pi} \approx 2,5 \text{ Hz}$  oder 2,5 U/s

- Dauer einer Umdrehung  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,5} \approx 0,40 \text{ s}$

In der Technik kommt noch eine weitere Größe dazu, nämlich die Drehzahl n: in Umdrehungen pro Minute.

Umrechnung:  $n = 60 \cdot f$  <sup>21</sup>

Beispiele von oben: Plattenspieler:  $n = 60 \cdot f = 60 \cdot 0,5 = 30 \frac{1}{3} \text{ U/min}$  <sup>22</sup>

Automotor bei Vollgas:  $n = 60 \cdot f = 60 \cdot 100 = 6000 \text{ U/min}$

Laufrad:  $n = 60 \cdot f = 60 \cdot 2,5 = 150 \text{ U/min}$

12 ...., die ich nicht herleite, ...

13 nach dem deutschen Physiker Heinrich R. Hertz (1857-1894).

14 Wenn also die Fliege weiter innen oder weiter außen auf dem Plattenspieler sitzt, sie dreht sich immer ca. 0,5 mal pro Sekunde.

15 Schau dir vom Video [youtube.com/watch?v=8jo2MCo9iBg](https://www.youtube.com/watch?v=8jo2MCo9iBg) 1:16-21 an. Du siehst: 0,5 U/s = 0,5 Hz. Wenn du einen Plattenspieler zuhause hast, probier es aus.

16 Warum das? Es ist ganz einfach: Eine Umdrehung hat  $360^\circ = 2\pi$ . Daher kommt die Formel.

17 Ist im Prinzip einfach Schlussrechnung: Wenn eine Umdrehung z.B.  $T = 2$  s dauert, so ist  $f = \frac{1}{T}$  Umdrehung/s (Hz), wenn hingegen f z.B. 100 Hz (Umdrehungen/s) ist, so ist T klarerweise  $1/100$  s. Es ist also einfach das eine der Kehrwert des anderen.

18 ...., das nicht am Boden steht, sondern zum Demonstrieren aufgehängt ist, ...

Stell dir das so vor: [youtube.com/watch?v=ZE5i-T2f5o8](https://www.youtube.com/watch?v=ZE5i-T2f5o8) (nur die ersten paar Sekunden).

19 Das wäre auch die Geschwindigkeit des gesamten Fahrrads, wenn man am Boden damit fahren würde. (Da die Reifenoberfläche in Kontakt mit der Straße ist, muss sich das ganze Fahrrad gleich schnell wie die Reifenoberfläche bewegen.)

20 Also wird ein Winkel von 15,625 rad pro Sekunde überstrichen. Das sind  $895^\circ$ , also mehr als zwei Kreise.

21 Das ist klar, denn eine Minute hat 60 Sekunden. Deswegen dreht es sich auch 60mal so oft.

22 Vinyl-Fans wissen, dass das die Einstellung für eine Langspielplatte ist. „Singles“ werden mit 45 U/min abgespielt.