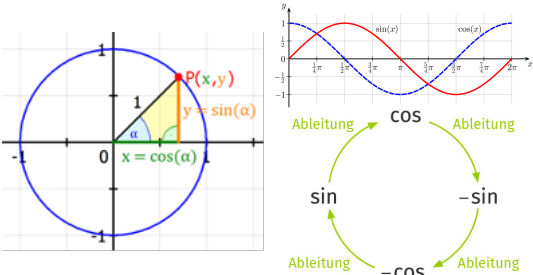


1 Grundlagen

1.1 Trigonometrie



	0°	30°	45°	60°	90°
$\sin(\alpha)$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos(\alpha)$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan(\alpha)$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	—



1.2 Vektorrechnung

Länge des Vektors:  $|\vec{u}| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$

1.3 Ableitungen

Funktion	Ableitung
$x^a$	$a \cdot x^{a-1}$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$
$\sin(x)$	$\cos(x)$
$\cos(x)$	$-\sin(x)$
$\tan(x)$	$\frac{1}{\cos^2(x)}$

Produktregel:  
 $\frac{d}{dx}(f(x) \cdot g(x)) = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$

Kettenregel:  
 $\frac{d}{dx}f(g(x)) = f'(g(x)) \cdot g'(x)$

1.3.1 Physikalische Größen

Geschwindigkeit	$v$	-	$m/s$
Beschleunigung	$a$	-	$m/s^2$
Federkonstante	$D$	-	$N/m$
Frequenz	$f$	Hertz	$1/s$

Physik Anwendung für Informatik / Felix Tran, Joshua Beny Hürzeler, Nick Götti / 1

Kraft	$F$	Newton	$kg \cdot m/s^2$
Energie	$E$	Joule	$N \cdot m$
Arbeit = $\Delta$ Energie	$W$	Joule	$J = N \cdot m$
Leistung = Arbeit pro Zeit	$P$	Watt	$J/s$

\* 4.19 Joule = 1 Cal, 1 Joule = 1 Watt/s =>  $3.6 \cdot 10^6 J = 1 kWh$

1.3.2 Basisgrößen

Länge	$l$	Meter	$m$
Masse	$m$	Kilogramm	$kg$
Zeit	$t$	Sekunde	$s$

1.3.3 Abhängigkeit Weg Geschwindigkeit und Beschleunigung über die Zeit

Wegfunktion	$s(t)$
Geschwindigkeitsfunktion	$v(t) = \dot{s}(t)$
Beschleunigungsfunktion	$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t)$

1.3.4 Konstanten

Fallbeschleunigung	$g$	$9.80665 m/s^2$
Lichtgeschwindigkeit	$c$	$2.99792458 \cdot 10^8 m/s$
Gravitationskonstante	$G$	$6.673 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2/kg^2$

**Konservative Kraft:** Die Kraft ist konservativ, da sie nur von Ortskoordinaten abhängt, und da  $-F(x)$  als reell wertige Funktion einer Variable eine Stammfunktion besitzt. Das Hook'schen Gesetz beschreibt eine konservative Kraft, da sie nur von Ortskoordinaten abhängt, und da  $-F(x)$  als reellwertige Funktion einer Variable eine Stammfunktion besitzt

2 Kinematik

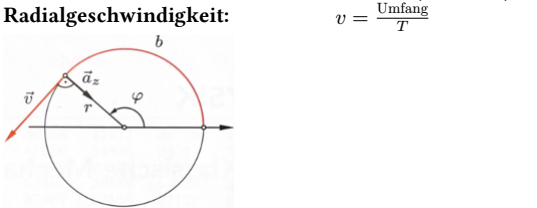
**Mittlere Geschwindigkeit:**  $\bar{v} = \frac{\Delta v}{\Delta s}$   
**Mittlere Beschleunigung:**  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$   
**Gleichförmige Bewegung:**  $s = s_0 + v \cdot t \Rightarrow \frac{s}{v} = t$   
**Geradlinige Bewegung:**  $\Delta s = \bar{v} \Delta t$   
**Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:**

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2$$
$$v = v_0 + at$$
$$v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0) \Rightarrow \text{wenn } v_0 = 0 \Rightarrow s = \frac{v^2}{2a}$$
$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$
$$t = \frac{v}{a} = \frac{v_0 - v}{a}$$

2.1 Gleichförmige Kreisbewegung ( $\omega = \text{konst.}$ )

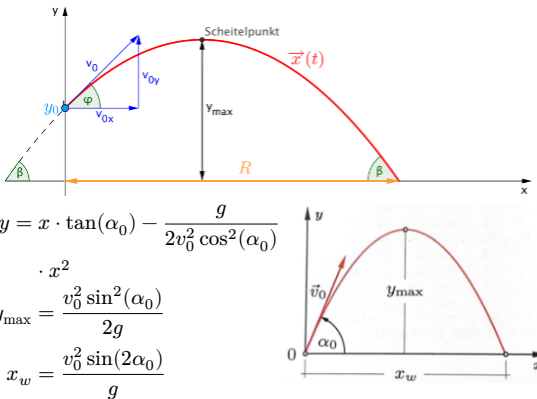
**Umlaufzeit:**  $T$  [T] = s  
**Frequenz:**  $f = \frac{1}{T}$  [f] =  $s^{-1} = Hz$   
**Winkelkoordinate:**  $\varphi = \frac{b}{r}$  [ $\varphi$ ] = rad =  $\frac{m}{m}$   
 $\omega = \Delta \frac{\varphi}{\Delta t}$  [ $\omega$ ] =  $\frac{rad}{s}$   
**Winkelgeschwindigkeit:**  $= \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$   
**Bahngeschwindigkeit:**  $v = r\omega$

**Zentripetalbeschleunigung:**  $a_z = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$   
**Tangentialgeschwindigkeit:**  $v_T = \frac{2\pi r}{T}$   
 $a_r = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$   
**Radialbeschleunigung/ Zentripetalbeschleunigung:**  $a_T = \frac{v_1 - v_0}{T - t_0}$   
**Tangentialbeschleunigung:**  $r(t) = r \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \varphi_0) \\ \sin(\omega t + \varphi_0) \end{pmatrix}$   
**Kreisbewegung Funktion:**  $v = \frac{\text{Umfang}}{T}$



2.2 Schiefer Wurf

**Bewegungsgleichung:**  $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2$   
 $\begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ y_0 \end{pmatrix} + v_0 \begin{pmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{pmatrix} \cdot t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} t^2$



3 Messen und Messfehler

**Systematische Fehler:** z.B. Messen mit falsch kalibriertem Messgerät.  
Berechnet sich der Wert einer Grösse z aus Messwerten der Grössen x und y.  
 $z = f(x, y)$   
und wurden die Messgrößen x und y mit einem Fehler von  $\Delta x$  bzw.  $\Delta y$  bestimmt, so ist der Wert von z nur ungenau bestimmt. Für den prognostizierten Wert und den prognostizierten Messfehler gilt

$$z = z_0 \pm \Delta z$$
$$z_0 = f(x_0, y_0)$$
$$\Delta z = \left| \frac{\partial}{\partial x} f(x_0, y_0) \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial}{\partial y} f(x_0, y_0) \right| \cdot \Delta y$$

sofern die Grössen x und y, z.B. auf Grund von fehlerhaften Messinstrumenten, systematisch falsch bestimmt wurden. Die Fehlerabschätzung durch systematische Fehler ist eine «worst-case»-Abschätzung  
**Statistische Fehler:** Bei mehrfach messen unterschiedliche Ergebnisse  
 $\Rightarrow$  Mehrmals messen und Mittelwert nehmen verkleinert den Fehler Fehlerfortpflanzung für normalverteilte Fehler. Berech-

net sich der Wert einer Grösse z aus Messwerten der Grössen x und y gemäss

$$z = f(x, y)$$

und wurden die Messgrößen x und y durch Mehrfachmessung (x n-fach gemessen, y m-fach gemessen) und ohne systematischen Fehler bestimmt, so darf von statistisch normalverteilten Fehlern ausgegangen werden. In diesem Fall errechnet sich die Standardunsicherheit der Messwerte von x und y gemäss

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$
$$\Delta y = \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\sigma_y}{\sqrt{m}}$$

$\sigma$  = Standardabweichung  
 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  = Mittelwert  
Es gilt also

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$
$$y = \bar{y} \pm \Delta y$$

Ausserdem ist der prognostizierte Wert und der statistische Fehler von z durch folgende Formeln berechenbar

$$z = z \pm \Delta z$$
$$\bar{z} = f(\bar{x}, \bar{y})$$

$$\Delta z = \sqrt{\left( \frac{\partial}{\partial x} f(x_0, y_0) \cdot \Delta x \right)^2 + \left( \frac{\partial}{\partial y} f(x_0, y_0) \cdot \Delta y \right)^2}$$

**Beispiel Systematischer Fehler:** Ein Gewicht unbekannter Masse wird auf einer schiefen Ebene mit dem Neigungswinkel  $\alpha$  platziert, auf der es reibungsfrei gleiten kann. Die Hangabtriebskraft und der Neigungswinkel  $\alpha$  werden experimentell bestimmt. Die Werte sind  $\alpha = (30^\circ \pm 2^\circ)$ ,  $F_H = (10 \pm 0.3) N$ . Aus Tabelle  $g = (9.81 \pm 0.03)$

$$F_H = mg \cdot \sin(\alpha) \Rightarrow m = \frac{F_H}{g \cdot \sin(\alpha)}$$
$$m = \frac{10N}{9.81m/s^2 \cdot \sin(30^\circ)} = 2.0387$$

Partielle Ableitungen:

$$\frac{\partial m}{\partial g} \left( \frac{F_H}{g \cdot \sin(\alpha)} \right) = -\frac{F_H}{g^2 \cdot \sin(\alpha)}$$
$$\frac{\partial m}{\partial \alpha} \left( \frac{F_H}{g \cdot \sin(\alpha)} \right) = -\frac{F_H \cdot \cos(\alpha)}{g \cdot \sin^2(\alpha)}$$
$$\Delta m = \left| -\frac{F_H}{g^2 \cdot \sin(\alpha)} \cdot \Delta g \right| + \left| -\frac{F_H \cdot \cos(\alpha)}{g \cdot \sin^2(\alpha)} \cdot \Delta \alpha \right|$$
$$+ \left| \frac{1}{g \cdot \sin(\alpha)} \cdot \Delta F_H \right| = 0.191kg$$
$$m = (2.04 \pm 0.19)kg$$

**Achtung**  $\Delta \alpha$  muss in Bogenmass sein!

**Gradmass in Bogenmass**  $x = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi$

**Bogenmass in Gradmass**  $\alpha = \frac{x}{\pi} \cdot 180$

4 Kraft

**Kraft**  $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$   
**Gewichtskraft**  $F_G = mg$   
**Federkraft**  $F_F = D y$   $D$  = Federkonst.  
 $y = |l - l_0|$   
**Hook'sches Gesetz**  $\Delta F = D \cdot \Delta y$   
**Zentripetalkraft**  $F_Z = \frac{mv^2}{r}$

## Schiefe Ebene

$$F_G = mg$$

### Normalkraft:

$$F_N = mg \cdot \cos(\alpha)$$

### Hangabtriebskraft:

$$F_H = mg \cdot \sin(\alpha)$$

### Haftreibungskraft:

$$F_{HR} = \mu \cdot F_N$$

## 4.1 Kraft Statik

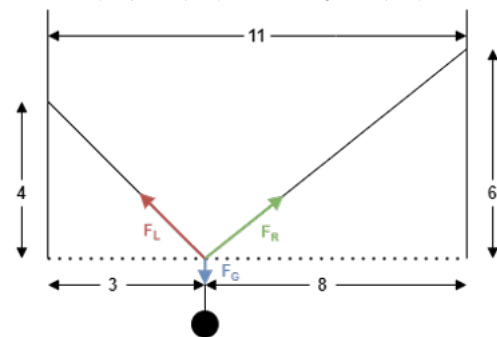
In der Statik bewegen sich die Objekte nicht. Dort gilt also:

$$\sum F = 0, v(t) = 0m/s, a(t) = 0m/s^2$$



$$X) F_s \cdot \cos(18^\circ) - \mu \cdot F_N - F_G \cdot \sin(35^\circ) = 0$$

$$Y) F_s \cdot \sin(18^\circ) + F_N - F_G \cdot \cos(35^\circ) = 0$$



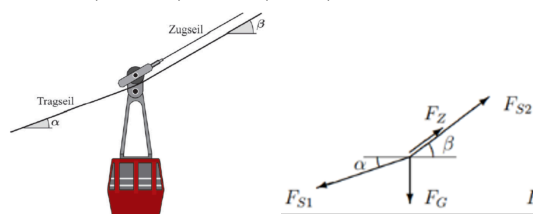
Ein Gewicht der Masse  $m = 10\text{kg}$  wird entsprechend der obigen Skizze durch Seile an einer Wand befestigt. Welche Kräfte wirken im linken und rechten Seil?

### 1. Methode:

$$\frac{F_L}{\sqrt{3^2 + 4^2}} \begin{pmatrix} -3 \\ 4 \end{pmatrix} + \frac{F_R}{\sqrt{8^2 + 6^2}} \begin{pmatrix} 8 \\ 6 \end{pmatrix} + mg \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} = 0$$

### 2. Methode

$$F_L \begin{pmatrix} -\cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{pmatrix} + F_R \begin{pmatrix} \cos(\beta) \\ \sin(\beta) \end{pmatrix} + mg \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} = 0$$



Eine 20 kN schwere Luftseilbahnkabine hängt reibungsfrei an einem Tragseil und wird durch ein Zugseil festgehalten. Wie gross sind die Zugkräfte im Zug- und im Tragseil? ( $\alpha = 20^\circ = 20^\circ$  und  $\beta = 20^\circ$ )

## Physik Anwendung für Informatik / Felix Tran, Joshua Beny Hürzeler, Nick Götti / 2

$$F_{S1} = F_{S2} = F_T$$

$$F_T \begin{pmatrix} \cos(180^\circ - 20^\circ) \\ \sin(180^\circ - 20^\circ) \end{pmatrix} + F_T \begin{pmatrix} \cos(20^\circ) \\ \sin(20^\circ) \end{pmatrix} + F_Z \begin{pmatrix} \cos(20^\circ) \\ \sin(20^\circ) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -20 \text{ kN} \end{pmatrix} = 0$$

$$\Rightarrow F_T = 9.97 \cdot 10^4 \text{ N}, F_Z = 8.48 \cdot 10^3 \text{ N}$$

## 5 Energie E

### Kinetische Energie

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

### Potenzielle Energie

$$E_p = mgh$$

### Spannenergie einer Feder

$$E_F = \frac{1}{2}Dy^2$$

### Energieerhaltungssatz

$$E_{\text{tot}} = \sum_i E_i = \text{konst.}$$

$E_{\text{tot}}$ : Gesamtenergie im abgeschlossenen System

$E_i$ : Teilenergie

### Energieerhaltung potenzielle Energie => Feder:

$$mg(h+y) = \frac{1}{2}Dy^2$$

## 6 Arbeit W

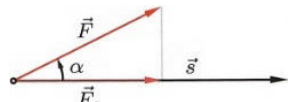
### Beziehung zwischen Arbeit und Energie:

$\Delta E = W_{AB}$   $\Delta E$ : Energieänderung eines offenen Systems

$W_{AB}$ : Arbeit, einer äusseren Kraft an diesem System

$$W = F \cdot s$$

$$W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha) = \vec{F} \cdot \vec{s}$$



### Arbeit auf der schieben Ebene mit Reibung:

$$W = (\sin(\alpha) + \mu_R \cdot \cos(\alpha)) \cdot F_G \cdot s$$

## 7 Leistung P

### mittlere Leistung

$$\bar{P} = \frac{W_{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

### momentane Leistung

$$\frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

### Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

$W_1 P_1$ : aufgenommene Leistung bzw. Arbeit  
 $W_2 P_2$ : nutzbare Leistung bzw. Arbeit

### Vortriebskraft

$$F = \frac{P}{v}$$

### Reibungskoeffizient

$$\mu = \frac{P}{F_G v}$$

### Steigleistung

$$\frac{dh}{dt} = \frac{P}{F_G + \frac{P}{v} \cot(\alpha)}$$

Welche Wassermenge pro Zeiteinheit fördert eine 4-kW-Pumpe in ein 45 m höher liegendes Reservoir?

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\rho gh}$$

### Leistung auf der Schiefen Ebene in Abhängigkeit von s und h:

$$W = (h + \mu_R \sqrt{s^2 - h^2}) mg$$

## 8 Kosmologie

**Umkreisung in geringer Höhe:** Gravitationskraft zwischen Satelliten und Erde  $F_G$  ist gerade das Gewicht  $mg$  des Satelliten, welches es er auch auf der Erde hätte

$$mg = \frac{mv^2}{r}$$

Daraus folgt die Formel für die

Geschwindigkeit	Umlaufzeit
$v = \sqrt{gr}$	$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$

**Geostationär:** Geostationär bedeutet, dass der Satellit gleiche Umlaufzeit  $T$  wie die Erde hat. (Umlaufzeit Erde =  $T = 24 \cdot 3600 \text{ s} = 86400 \text{ s}$ )

### Gravitation:

### Gravitationskraft zweier Massenpunkte

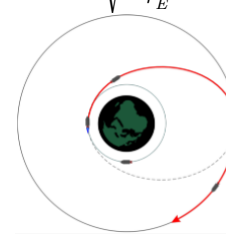
$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\vec{F}_G = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM_E}{r_E}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM_E}{r_E}}$$



### Potenzielle Energie

### Kreisbahngeschwindigkeit

### Fluchtgeschwindigkeit

### Energie Änderung bei Bahnänderung

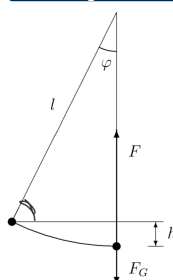
$$\Delta E = \frac{GM_E m}{r} \frac{r' - r}{r' r}$$

$r'$  = Radius neue Bahn

### potenzielle Energie eines Objekts im Gravitationsfeld eines anderen:

$$E_p = \frac{GM_E m}{r}$$

## 9 Fadenpendel



$$\left. \begin{matrix} F = \text{Fadenkraft} \\ F_G = \text{Gewichtskraft} \end{matrix} \right\} F_{\text{res}} = F - F_G$$

$$= \left( \frac{mv^2}{l} \right)$$

Die Energie-Erhaltung sagt uns, dass potenzielle Energie gleich kinetische Energie ist. Daraus folgt:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$

$$= mg(l - l \cdot \cos(\varphi))$$

$$= mgl(1 - \cos(\varphi))$$

### Schwingungsdauer:

$$\text{Feder} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

$$\text{Mathematisches Pendel} \quad T \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

## 10 Mehrdimensionale Analysis

### Linearisierung:

$$f(x) \approx f'(x_0)(x - x_0) + f(x_0)$$

Häufig mit Funktionen mehrerer Variablen zu tun, die weitere Funktionen beinhalten.

$$f(x, y) = x^2 \cdot \sin(y)$$

$$x(t) = \sin(t)$$

$$y(t) = t^3$$

### Partielle Ableitung:

Nach  $x$  und  $y$  getrennt ableiten.

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x}(x^2 \cdot \sin(y)) = 2x \cdot \sin(y)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial f}{\partial y}(x^2 \cdot \sin(y)) = x^2 \cdot \cos(y)$$

### Totale Ableitung:

$x(t)$  und  $y(t)$  in  $f(x, y)$  einsetzen und dann ableiten.

$$\frac{df}{dt}(x(t), y(t)) = \frac{d}{dt}(\sin(t)^2 \cdot \sin(t^3))$$

$$= 2 \sin(t) \cdot \cos(t) \cdot \sin(t^3) + \sin(t)^2 \cdot \cos(t^3) \cdot 3t^2$$

Alternativ mit mehrdimensionale Kettenregel möglich. Bei dieser werden die partiellen Ableitungen mit der Ableitung der Funktion multipliziert und addiert.

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt}$$

## 11 Weiteres

### 11.1 Taschenrechner

- **Menu** → **3** → **1** für solve()
- **Menu** → **3** → **7** → **1** für Gleichungssystem lösen
- **doc** → **7** → **2** für Umstellung von Grad auf Rad
- **Menu** → **4** → **1** für Ableitungen

### 11.2 Fundamentum Mathematik und Physik Inhalt

- **Trigonometrie:** Seite 26
- **Ableitungen:** Seite 60
- **Kinematik:** Seite 81
- **Kräfte:** Seite 83
- **Energie:** Seite 85

### 11.3 Aufgabenbeispiele

#### 11.3.1 Ballwurf mit Energieerhaltung

Ein Kind will einen Ball über eine 2m von ihm entfernte Mauer werfen. Die dazu minimal erforderliche Wurfhöhe ist 10m. Welches ist der minimal erforderliche Betrag der Flugzeit, mit der der Junge den Ball abwerfen muss?

### Lösungsweg:

1. In  $y$ -Richtung ( $y = 10\text{m}$ ) gilt dank Energieerhaltung:

$$\frac{1}{2}mv_y^2 = mgy$$

$$v_y = \sqrt{2gy}$$

2. Die Flugzeit, bis die Geschwindigkeit in  $y$ -Richtung 0 ist, ist:

$$v_y = gt \quad (\text{Da freier Fall})$$

$$t = \frac{v_y}{g} = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

3. In dieser Zeit muss der Ball die Distanz  $x$  ( $x = 2\text{m}$ ) zurücklegen:

$$x = v_x t$$

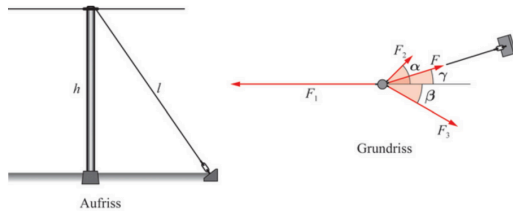
$$v_x = \frac{x}{t} = \sqrt{\frac{gx^2}{2y}}$$

4. Die gesuchte Geschwindigkeit ist:

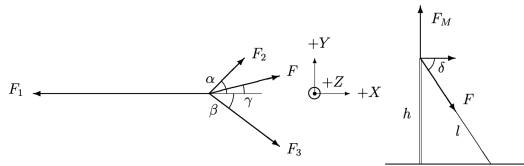
$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\frac{gx^2}{2y} + 2gy} \\
 &= \sqrt{\frac{9.81m/s^2 \cdot 2^2m^2}{2 \cdot 10m} + 2 \cdot 9.81m/s^2 \cdot 10m} \\
 &= \sqrt{198m^2/s^2} = 14m/s
 \end{aligned}$$

### 11.3.2 Komplexe Kräfteaufgabe

An der Spitze eines  $h = 8\text{ m}$  hohen Mastes üben die befestigten Leitungen die Zugkräfte  $F_1 = 4800\text{ N}$ ,  $F_2 = 1200\text{ N}$  und  $F_3 = 2700\text{ N}$  aus. Der Winkel  $\alpha = 40^\circ$  und  $\beta = 30^\circ$ . In welcher Richtung  $\gamma$  muss ein  $l = 9.6\text{ m}$  langes schräges Drahtseil verankert werden, damit an der Mastspitze keine horizontale Kraft wirksam wird? Wie gross ist die Zugkraft  $F$  im Seil?



Aus dem Seitenriss geht hervor, dass die Kraft  $F$  in eine horizontale ( $xy$ -Ebene) Komponente  $F_{xy} = F \cos \delta$  und in eine vertikale ( $z$ -Richtung) Komponente  $F_z = F \sin \delta$  zerlegt werden kann. Somit:



1. Gleichgewicht in x-Richtung:

$$-F_1 + F_2 \cos(\alpha) + F_3 \cos(\beta) + F \cos(\delta) \cos(\gamma) = 0$$

2. Gleichgewicht in y-Richtung:

$$F_2 \sin(\alpha) - F_3 \sin(\beta) + F \cos(\delta) \sin(\gamma) = 0$$

3. Gleichgewicht in z-Richtung:

$$F_M - F \sin(\delta) = 0$$

4. Daraus folgt aus X-Gleichung:

$$F \cos(\delta) \cos(\gamma) = [F_1 - F_2 \cos(\alpha) - F_3 \cos(\beta)]$$

5. Daraus folgt aus Y-Gleichung:

$$F \cos(\delta) \sin(\gamma) = \{-F_2 \sin(\alpha) + F_3 \sin(\beta)\}$$

6. Da  $F^2 \cos^2(\delta)(\sin^2(\gamma) + \cos^2(\gamma)) = F^2 \cos^2(\delta)$  können wir die 2 Gleichungen quadrieren und zusammenzählen:

$$F^2 \cos^2(\delta) = \boxed{\phantom{0}}^2 + \boxed{\phantom{0}}^2$$

7. Da  $\sin(\delta) = \frac{h}{l}$  erhalten wir für den Cosinus:

$$\cos^2(\delta) = 1 - \frac{h^2}{l^2}$$

8. Die gesuchte Seilkraft  $F$  ist somit:

$$F = \sqrt{\frac{\boxed{\phantom{0}}^2 + \boxed{\phantom{0}}^2}{1 - \frac{h^2}{l^2}}} = 3056\text{ N}$$

9. Winkel  $\gamma$  erhalten wir als Quotient von Y und X-Gleichung:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{\boxed{\phantom{0}}}{\boxed{\phantom{0}}}\right) = 17.3^\circ$$