Physik für Techniker

http://worgtsone.scienceontheweb.net/worgtsone – mailto: worgtsone@hush.com

13. Oktober 2011

Inhaltsverzeichnis

Disclaimer

Wissen ist zum Teilen da. Ich teile mein Wissen mit Ihnen, lieber Kollege.
Ich bin aber nicht perfekt. Unter `worgtsone@hush.com` nehme ich dankbar Ihre Verbesserungsvorschläge entgegen.

*

*

Bitte teilen Sie meine Web-Adresse nicht Ihren Schülern mit.

1 Intro

1.1 Physikalische Größen

Jede physikalische Größe hat einen Namen, ein Formelzeichen und eine Einheit.

Beispiel Längen und Höhen werden gemessen in `m`. Übliche Formelzeichen sind `x, s` und `h`.

1.2 Einheiten

Die Einheiten werden entwickelt aus dem SI (System Internationale). Grundeinheiten sind `m, s, g, A, ....`

Manche der Größen sind etwas unhandlich für manche Zewcke. Sie werden durch Zusatzzeichen in 1000er-Schritten vereinfacht:

```
         0,000000001     n    nano
         0,000001        u    mikro
         0,001           m    milli
         1
      1000               k    kilo
   1000000               M    Mega
1000000000               G    Giga
```

Ausnahme: 1000 kg sind $1t$ und nicht, wie zu erwarten, $1Mg$.

1.3 Formeln

Unter bestimmten Umständen kann man aus einigen bekannten Zustandsgrößen weitere Zustandsgrößen berechnen.

In den Formeln stehen die Formelzeichen. Zum Berechnen muß man die richtigen Größen mit der richtigen Einheit einsetzen.

Formeln darf man nach der gesuchten Größe umstellen.

Beispiel Ein Auto fährt eine halbe Stunde lang mit 80 km/h. Wie weit fährt es?

$v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = v \times t = 80km/h \times 0,5h = 40km$

Das Ergebnis ist unabhängig davon, in welcher Einheit ich die Größen einsetze.

Ich darf dabei mit 1 multiplizieren, solange ich will, z.B.:

$$1m = 1m \times 1 = 1m \times \frac{1000mm}{1m} = 1000mm$$

2 Gleichförmige Bewegung

2.1 Stillstand

(Das Thema ist trivial, mir geht es um die Schreibweise.)

Der Körper ruht. Sein Ort verändert sich nicht, seine Geschwindigkeit ist null, seine Beschleunigung auch.

$s = const.; v = 0; a = 0 \Leftarrow$ **Diese Schreibweise ist kürzer.**

Natürlich unterliegt der Körper der Erdbeschleunigung (9,81 m/s^2). Aber die wirkt nach unten, und der Tisch, auf dem der Körper liegt, drückt ihn mit entgegengesetzter, gleich großer Kraft nach oben.

In vertikaler Richtung passiert also nichts, solange der Tisch bzw. die Straße eben und völlig horizontal ist. Das wollen wir als gegeben betrachten, dh wir wollen annehmen, daß es so ist, bis ich etwas anderes sage.

2.2 Gleichförmige Bewegung

Bei der Gleichförmigen Bewegung gilt:
$v = const; a = 0$
und s müssen wir noch herausbekommen.

Beispiel Ein Auto fährt mit $v = const.$ von A nach B. Der Fahrer guckt gelegentlich auf die Uhr und den Kilometerzähler:

Messpunkt	1	2	3	4	5
Uhr	06:25	06:30	06:45	07:00	07:05
km	78000	78000	78030	78043	78043

Die Geschwindigkeit zwischen Punkt 0 und Punkt 1 ist schnell ausgerechnet: 30 km in 1/4 h sind 120 km/h.

2.3 Koordinatensystem

2.3.1 Richtung

Wo immer wir Größen quantifizieren, müssen wir uns eine Richtung aussuchen, in der die Größe größer wird.

Die Richtung, in der die Größe größer wird, heißt positiv.
Die entgegengesetzte Richtung heißt negativ.

Das ist nicht so trivial, wie es klingt.

Beispiele Bei der Zeit ist alles klar.

Bei der Höhe auch. Bei der Tiefe nicht mehr - nach unserem System ist Tiefe dasselbe wie negative Höhe.

Bei der Bewegung in der Ebene ist dagegen alles offen - es liegt an uns, in welcher Richtung wir "positiv" definieren. "Negativ" ist dann entgegengesetzt. Richtungen, die rechtwinklig zu unserer gewählten Achse verlaufen, können wir nur mit einer weiteren Koordinate erfassen.

2.3.2 Differenz

Weil die Größen (zB Weg) Koordinaten haben, haben auch die Differenzen (Längen) eine Richtung.

Die Differenz zwischen Punkt A und Punkt B ist Punkt B - Punkt A.

Beispiel Startpunkt = 3 m. Zielpunkt = 7 m.

Höhendifferenz zwischen Start und Ziel = hZiel - hStart = 7m - 3m = + 4m. Mit anderen Worten: Ich muß 4m HOCH.

Das funktioniert auch mit negativen Größen:

Startpunkt = -3m. Zielpunkt = 7m.

Von Start nach Ziel = 7m - (- 3m) = 10m (nach oben, versteht sich).

Und rückwärts: von Ziel nach Start sind es - 3m - (7m) = -10m (nach unten halt).

2.3.3 Ursprung, Offset

Das wirkt ein bißchen umständlich, aber kommt immer hin. Wir merken uns:

Differenz = Ziel - Start.
Der Ursprung ist dort, wo die Größe 0 ist.
Ich darf ihn definieren, wo ich will.

Ich werde den Ursprung so definieren, daß ich leichter rechnen kann. Wenn er festgelegt ist, muß ich mich anschließend auch daran halten.

2.4 s-t-Diagramm

Physiker lieben 2-dimensionale Diagramme. Diese haben 2 Achsen aus zwei verschiedenen Größen. Die Meßpunkte werden in die aufgespannte Ebene eingetragen.

Wir können die Meßpunkte vom obigen Auto in ein Diagramm eintragen. Ich wähle die waagrechte Achse für die Zeit (das ist so üblich).

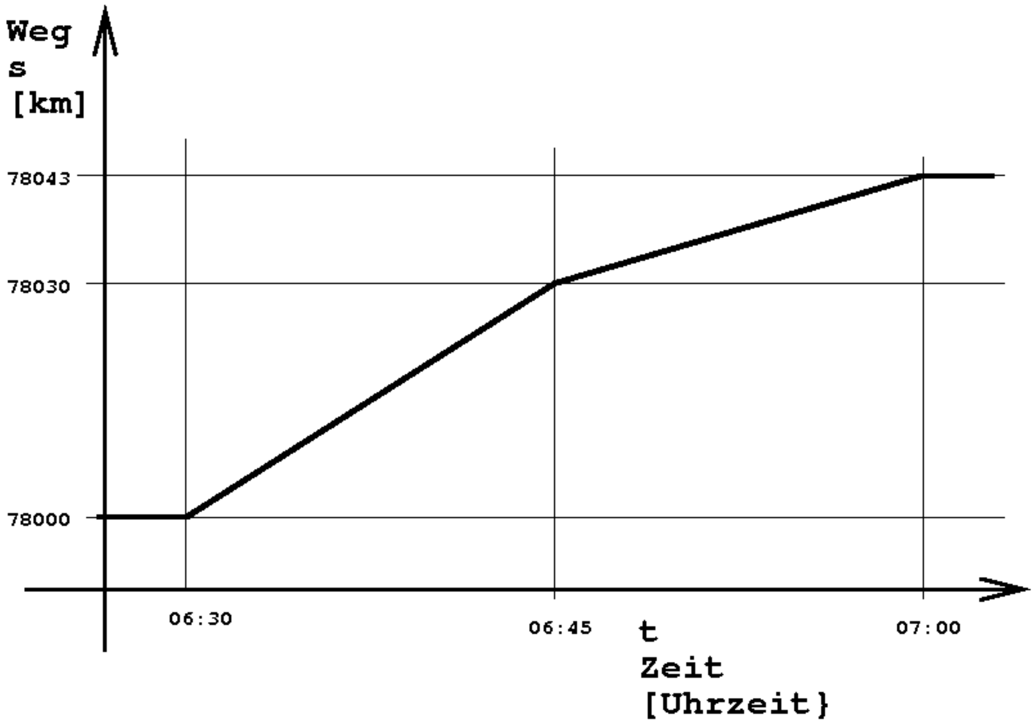


Abbildung 1: s-t-Diagramm für mehrere gleichförmige Bewegungen

Gleichförmige Bewegung erscheint im s-t-Diagramm als Gerade. Stehende Körper erscheinen als horizontale Gerade, d.h. ihr Ort ändert sich nicht, während die Zeit fortschreitet.
Wo die Geschwindigkeit sich ändert, ist ein Knick im Graphen.

Die Geschwindigkeit zwischen zwei Punkten C und D ist
$v = \frac{s_D - s_C}{t_D - t_C}$
Die Namen der Punkte sind dabei zufällig gewählt, ich hätte sie auch $hans$ **und** $franz$ **nennen können.**

2.5 v-t-Diagramm

Die Fläche unter dem Graphen im v-t-Diagramm ist die durchlaufene Strecke.
$s_F - s_E = v * (t_F - t_E)$
Diese Formel hätten wir auch durch äquivalente Umformung der obigen Formel erhalten können.

Diese einfachen Beispiele haben die Beschleunigung weggelassen. Kein Körper kann in 0,000 sec von 0 auf v beschleunigen.

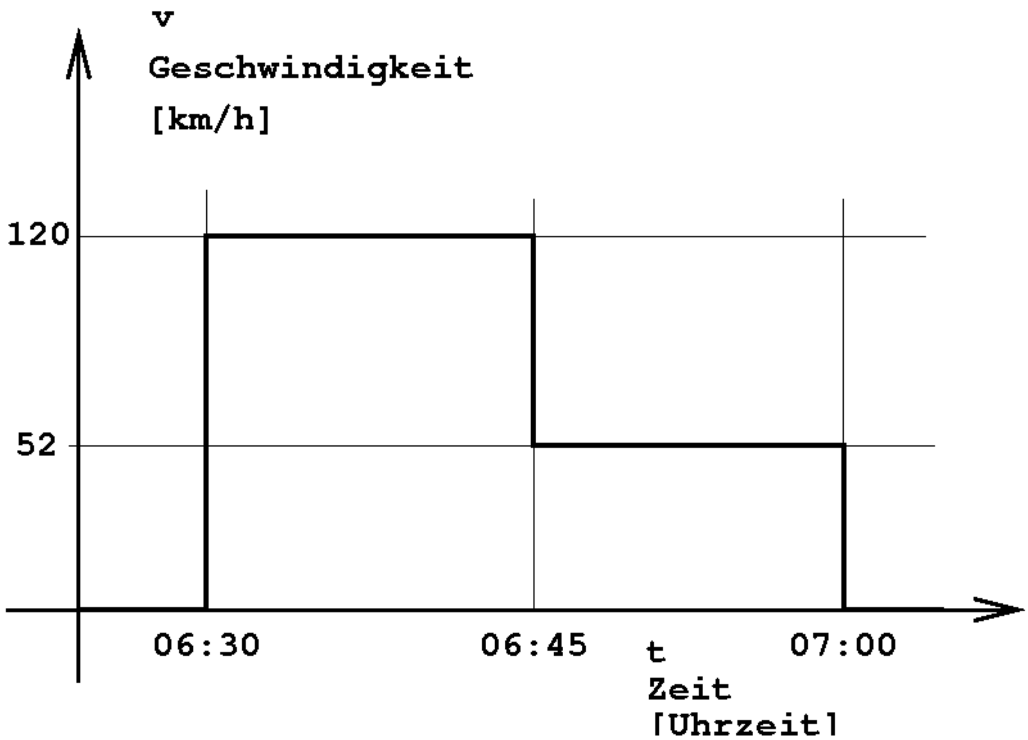


Abbildung 2: v-t-Diagramm für gleichförmige Bewegung

Horizontale Geraden im v-t-Diagramm zeigen Gleichförmige, unbeschleunigte Bewegung an.

2.5.1 Gegeben: v, 2 s, 1 t - gesucht: 1 t

Wir können den km-Stand um 06:35 aus dem s-t-Diagramm ablesen.
Wir können ihn auch berechnen. Zunächst bekommt der interessante Punkt einen Namen: G.
Ferner brauchen wir noch einen Punkt. Nehmen wir Punkt 2 von 06:30.

$$s_G - s_2 = v * (t_G - t_2) \Rightarrow s_G = s_2 + v * (t_G - t_2)$$

Das funktioniert auch für Punkt 3.

2.5.2 Gegeben: v, 1 s, 2 t - gesucht: 1 s

Wir können die Zeit für 78040 km aus dem s-t-Diagramm ablesen.
Wir können ihn auch berechnen. Zunächst bekommt der interessante Punkt einen Namen: H.
Ferner brauchen wir noch einen Punkt. Nehmen wir Punkt 3 von 06:45.

$$s_H - s_2 = v * (t_H - t_2) \Rightarrow t_H = t_2 + \frac{s_H - s_2}{v}$$

2.6 Übung

Alle Zwischenergebnisse und Ergebnisse bitte mit 3 kaufmännisch gerundeten Nachkommastellen.

2.6.1 Ein Auto

Ein Auto fährt mit $v = 80km/h$ von A nach B. Das Auto fährt um 10:00 Uhr mit km-Stand 10000 los. Die Orte sind 57 km voneinander entfernt.

a) Wie lange braucht es? Wann kommt es an?

b) Zeichnen Sie das s-t-Diagramm und das v-t-Diagramm.

c) Wann hat das Auto 43 km gefahren? Zeichnen Sie den Punkt in die Diagramme ein.

d) Wie weit ist das Auto um 10:05? Zeichnen Sie den Punkt in die Diagramme ein.

Der Kilometerzähler von dem Auto ist kaputt. Wir nehmen ein entsprechend langes Maßband und legen es neben die Straße.

e) Macht das irgendeinen Unterschied?

2.6.2 Zwei Autos

Um 10:05 fährt Auto2 in B los (mit konstanter Geschwindigkeit) und kommt um 10:50 in A an.

a) Berechnen Sie seine Geschwindigkeit.

b) Zeichnen Sie Auto2 in dasselbe s-t-Diagramm.

c) Berechnen Sie seine Geschwindigkeit anhand des Maßbandes, das neben der Straße liegt.

d) Warum weichen die Ergebnisse voneinander ab?

e) Entnehmen Sie dem Diagramm: bei welchem Kilometerstand von Auto1 fahren die beiden Autos aneinander vorbei, und wann?

2.6.3 Durchschnitt

Ein Auto fährt 50 km weit mit 100 km/h, dann 50 km weit mit 150 km/h. Berechnen Sie seine Durchschnittsgeschwindigkeit.

2.6.4 Verrückte Mücke

Hans fährt mit dem Fahrrad zu Franz. Franz wohnt 9 km entfernt. Hans fährt 9 km/h.

Franz fährt gleichzeitig los Richtung Hans. Franz fährt 18 km/h.

In dem Augenblick, wo beide losfahren, startet von Hans' Vorderreifen eine verrückte Mücke mit 30 km/h. Sie fliegt zu Franz, wendet, fliegt wieder zu Hans, wendet, usw.

a) Zeichnen sie das s-t-Diagramm.

b) Wie weit ist die Mücke geflogen, als sie zwischen den beiden Vorderreifen zerquetscht wird?

3 Energie1

Energie kommt in verschiedensten Formen daher: Wärme, Bewegungsenergie, potentielle Energie, Rotationsenergie, Verformungsenergie.

Beispiel Ein Auto fährt los, rollt eine Weile mit 80 km/h, bremst zum Stehen.

Energie wird stets von einer Form in die andere umgewandelt.

Beim Auto: zunächst war's chemische Energie (im Benzin), dann kinetische Energie, dann Wärme in den Bremsen.

Energie hat das Formelzeichen W (engl.: work).
[W]

$$= 1J = 1\frac{kgm^2}{s^2}$$

Kinetische Energie einer Masse m mit Geschwindigkeit v:

$$W_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

3.1 Übung

Welche kinetische Energie steckt in einem Auto der Masse 800 kg, das 100 km/h fährt?

4 Gleichförmig beschleunigte Bewegung

4.1 Allgemeines

Geschwindigkeitssprünge gibt es nicht. Sie würden Energiesprüngen entsprechen, d.h. es würde kurzfristig eine unendlich große Leistung anfallen.

Also verlaufen Geschwindigkeitsänderungen **stetig**, d.h. ohne Sprünge.

Die einfachste Form von Geschwindigkeitsänderung über Zeit ist eine Gerade. Mit unseren mathematischen Mitteln können wir andere gar nicht durchrechnen. Diese Form der Geschwindigkeitsänderung heißt

Gleichförmig beschleunigte Bewegung

- **a-t-Diagramm: horizontale Geraden mit Sprungstellen -** $a = const.$

  a ist Positiv, wenn in positiver Richtung beschleunigt wird.

- **v-t-Diagramm: zusammenhängende Geraden mit Knicken. Die Knicke sind genau dort, wo die Sprungstellen im a-t-Diagramm sind.**

- **s-t-Diagramm: Geraden, wenn a=0 ; sonst quadratische Parabeln. Die Parabeln sind nach unten offen, wenn** $a < 0$**, sonst nach oben.**

  Das s-t-Diagramm hat keine Knicke.

Gleichförmig beschleunigte Bewegung ist die Ausnahme. Beispiele:

- Verzögerung eines Autos beim Bremsen;
- Freier Fall und Schräger Wurf. Dabei ist $g = -9,81 m/s^2$

Auf ein Stück Kreide, das friedlich auf dem Tisch liegt, wirken 2 Beschleunigungen: die Erdbeschleunigung und der Unwille des Tisches, daß die Kreide in ihn eindringt. Die Summe ist null, d.h. die Kreide bleibt liegen.

4.2 Senkrechter Wurf

4.2.1 Versuch mit Kreide

Ich werfe ein Stück Kreide hoch und fange es wieder auf. Geschätzte Werte:

```
Erster Wurf
t [sec]    0      0,5      1
s [m]      0      1,22     0
v [m/s]    ?      0        wie bei 0 sec, aber negativ.
```

```
Zweiter Wurf
t [sec]    0      1        2
s [m]      0      4,91     0
v [m/s]    ?      0        wie bei 0 sec, aber negativ.
           groesser als beim ersten Wurf
```

4.2.2 Auswertung

Wir zeichnen zunächst für jeden Versuch ein s-t-Diagramm und ein v-t-Diagramm.
Dann zeichnen wir beide in *ein* s-t-Diagramm und *ein* v-t-Diagramm.

Fallweg und Fallzeit sind genausogroß wie Steigweg und Steigzeit.

4.3 Verschiebung des Ursprungs

Eine Parabel irgendwo in der s-t-Ebene wird durch eine komplizierte mathematische Gleichung beschrieben. Unhandlich.
Eine Parabel, *deren Scheitelpunkt im Ursprung liegt*, wird durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

$$v = a * t$$

4.4 Ein Rudel Formeln

Wir haben die veränderlichen Größen v, h und t. Wenn eine bekannt ist, können wir die anderen ausrechnen. Es ergibt sich:

Fallzeit (h) =
Steigzeit (h) =
Fallzeit (Aufschlag-v) =
Steigzeit (Start-v) =

4.5 Potentielle Energie

Diese Formel gilt nur an der Erdoberfläche plusminus 60km:

$$W_{pot} = m * g * h$$

Frage Kann ein Körper negative potentielle Energie haben?

4.6 Übung

4.6.1 Turmspringer

Ein Turmspringer läßt sich aus 10 m Höhe herunterfallen.

a) Fallzeit? Auftreffgeschwindigkeit?

Nun springt der Springer zunächst 1 m in die Höhe.

b) Fallzeit? Auftreffgeschwindigkeit?

c) Zeichnen Sie für beide Fälle die Diagramme a(t), v(t), s(t).

4.6.2 Brunnentiefe

Ein Stein fällt in einen Brunnen und klatscht nach 1 sec unten auf. Wie tief ist der Brunnen?

4.6.3 Hochhaus

Hans möchte wissen, wie hoch sein Hochhaus ist. Er wohnt im 4. Stock in 8,5 m Höhe.

Er wirft eine Kuckucksuhr nach oben aus dem Fenster. Die Kuckucksuhr steigt zunächst genau bis zur Hochhaushöhe. Dann fällt sie herunter und zerschellt nach exakt 5 sec auf dem Pflaster.

a) Wie hoch ist das Hochhaus?

Hans wirft eine Gabel hinterher. Er wirft sie exakt horizontal mit 5 m/sec aus dem Fenster. Sie bleibt unten in einem Beet stecken.

b) Wie lange braucht die Gabel, bis sie unten ist?

c) Wie weit weg vom Hochhaus liegt sie dann?

4.6.4 Bremsende Autos

Hinweis: Verzögerung = - Beschleunigung.

a) Bei Autos ist eine Verzögerung von 4m/s^2 gesetzlich vorgeschrieben. Berechnen Sie den Bremsweg von 100 km/h auf 0 km/h.

b) Moderne Autos haben Bremswege von 43 m. Berechnen Sie die Verzögerung.

4.6.5 Werkzeugschlitten

An einer 5 m langen Werkzeugmaschine soll der Schlitten von ganz links nach ganz rechts fahren und dort stehenbleiben (nicht zerschellen).

a) Wie lange brauchen Sie, um den Schlitten von Hand hinzuschieben?

b) Der Schlitten wird mit Beschleunigung = Verzögerung = $5m/s^2$ bewegt. Wie lange braucht er?

4.7 Lösung: Hochhaus

Die Kuckucksuhr wird zunächst steigen und dann fallen. H = Hochhaushöhe.

Steigzeit $t_S = \sqrt{\frac{2*(H-8{,}5m)}{g}}$

Fallzeit $t_F = \sqrt{\frac{2*H}{g}}$

Gesamtzeit $t_{ges} = 5sec = \sqrt{\frac{2*(H-8{,}5m)}{g}} + \sqrt{\frac{2*H}{g}}$

Diese Gleichung enthält nur noch die Unbekannte H, aber ich kann sie nicht nach H auflösen. Also werfe ich eine Tabellenkalkulation an, denke mir ein paar Werte für H aus und berechne die entsprechenden Gesamtzeiten:

A	B	C	D	E	F	G	H
H	t_ges		H	t_ges		H	t_ges
30	4,5667258		35	4,9956101		35	4,9956101
31	4,6557419		35,1	5,0038049		35,01	4,9964302
32	4,7430455		35,2	5,011986		35,02	4,9972501
33	4,8287338		35,3	5,0201536		35,03	4,99807
34	4,9128953		35,4	5,0283076		35,04	4,9988897
35	4,9956101		35,5	5,0364482		35,05	4,9997092
36	5,0769518		35,6	5,0445755		35,06	5,0005286
37	5,1569877		35,7	5,0526893		35,07	5,0013479
38	5,2357798		35,8	5,06079		35,08	5,002167
39	5,313385		35,9	5,0688775		35,09	5,002986
40	5,3898564		36	5,0769518		35,1	5,0038049
H	t_ges		H	t_ges		H	t_ges
35,05	4,9997092		35,053	4,999955		35,0535	4,999996
35,051	4,9997911		35,0531	4,9999632		35,05351	4,9999968
35,052	4,9998731		35,0532	4,9999714		35,05352	4,9999977
35,053	4,999955		35,0533	4,9999796		35,05353	4,9999985
35,054	5,000037		35,0534	4,9999878		35,05354	4,9999993
35,055	5,0001189		35,0535	4,999996		35,05355	5,0000001
35,056	5,0002009		35,0536	5,0000042		35,05356	5,0000009
35,057	5,0002828		35,0537	5,0000124		35,05357	5,0000017
35,058	5,0003647		35,0538	5,0000206		35,05358	5,0000026
35,059	5,0004467		35,0539	5,0000288		35,05359	5,0000034
35,06	5,0005286		35,054	5,000037		35,0536	5,0000042

Die Höhe des Hochhauses liegt zwischen 35,05354 und 35,05355 m.

5 Energie2

5.1 10 m Golf

An einem Kran wird in 10 m Höhe ein Golf aufgehängt. Dann wird das Seil gekappt.
Potentielle Energie $\Rightarrow$ Kinetische Energie $\Rightarrow$ Verformungs- und Wärmeenergie.

Manche Energieumwandlungen kann man rückgängig machen, manche nicht.

Wenn wir statt des Golfs einen Gummiball genommen hätten...

5.2 Übung

5.2.1 Sattelschlepper

Ein Sattelschlepper (m = 30 t) wird in 10 m Höhe über der Straße aufgehängt.
a) Welche potentielle Energie hat er in Bezug auf die Straße?
Das Seil wird gekappt.
b) Welche Energie hat er nach 5m Fall?
c) Welche Energie hat er nach 10 m Fall?
d) Kann man daraus die Auftreffgeschwindigkeit in Anhängigkeit von h berechnen?
e) Ist die Auftreffgeschwindigkeit von der Masse abhängig?
f) Ist die Auftreff-Energie von der Masse abhängig?

6 Übungen Bewegung

g = -9,81 m/s^2

6.1 Ein Auto

Ignorieren Sie bei der folgenden Aufgabe Brems- und Beschleunigungsvorgänge.

Herr Müller fährt mit seinem Ford Focus über die Autobahn 50km weit zur Arbeit. Normalerweise fährt er 120 km/h. Heute ist ein 1 km langer Stau in einer Baustelle bei 25 Weg-km, wo er nur mit 5km/h vorankommt.

a) Wie lange braucht er normalerweise?

b) Wie lange braucht er heute?

c) Zeichnen Sie das v-t-Diagramm und das s-t-Diagramm.

6.2 Noch ein Auto

Ein Auto fährt 50 km weit mit 100 km/h, 50 km weit mit 200 km/h. Durchschnittsgeschwindigkeit?

6.3 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit unter Normalbedingungen ist 333 m/s = 1 mach.

Ein Moped fährt 250 km/h. Ein Reiseflugzeug fliegt 800 km/h. Die Lichtgeschwindigkeit ist ca. 300000 km/s. Rechnen Sie das um in m/s und mach.

Auf einem Fußballplatz stößt der rechte Torwart ab. Der linke Torwart ist 120m von ihm entfernt. Er sieht und hört den Abschlag. Berechnen Sie die Reisezeiten beider Signale.

6.4 Werkzeugschlitten

Der GFK-Schlitten an einer Werkzeugmaschine wird von einem Linearmotor mit 2 g beschleunigt bzw. gebremst. Wie lange braucht er für einen Verfahrweg von 5m?

6.5 3. Auto

Ein Auto beschleunigt mit 4 m/s^2 auf 70 km/h. Anschließend fährt es 2 km geradeaus. Dann hält es mit -4m/s^2 an.

a) Wie weit ist es gefahren?

b) Zeichnen und beschriften Sie alle drei Diagramme.

7 Schräger Wurf

Jeder Wurf kann unterteilt werden in eine Steigphase und eine Fallphase.

Es ergibt sich für die Steigzeit:

$$t_{steig} = \sqrt{-\frac{2s}{g}}$$

und die Fallzeit:

$$t_{fall} = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

und die Auftreffgeschwindigkeit:

$$v_1 = v_0 + gt$$

7.1 Schräger Wurf

In horizontaler Richtung wirkt auf frei fallende Körper keine Kraft und somit keine Beschleunigung.

Die horizontale Bewegung (mit $v = const.$) und die vertikale Bewegung (mit Steigen und Fallen) überlagern sich unabhängig voneinander.

7.2 Übung

7.2.1 Kinder

Zwei gleichgroße Kinder werfen sich einen Ball zu. Sie stehen 7m auseinander. Der Ball fliegt bis zu 2m über den Abwurfort (die Hand). Er wiegt 150 g.

1. Mit welchen Geschwindigkeiten verläßt der Ball die Hand?
2. Mit welchen Geschwindigkeiten landet der Ball in der anderen Hand?
3. Wie lange dauert der Wurf?
4. Welche Energie hat der Ball am Scheitelpunkt seiner Flugbahn?

7.2.2 Kanone

Eine Kanone, die auf einer Ebene steht, feuert eine Kugel ab. $v_x = v_y =$100 m/s.
Berechnen Sie die Reichweite.

8 Hydrostatik

8.1 Definition

Hydrostatik ist die Lehre von den ruhenden Flüssigkeiten.

Druck ist der Quotient aus Kraft und Fläche.

Aus der Definition ergibt sich die Einheit des Druckes zu

$$[p] = 1 \frac{N}{m^2} = 1\ Pa \text{ (Pascal)}$$

Für reale Drücke ist diese Einheit sehr unhandlich. Man hat sich auf eine neue Einheit geeinigt:

$$1bar = 100000Pa$$

8.2 Druckzunahme in der Tiefe

In einem Becherglas befindet sich Wasser. Auf der Oberfläche des Wassers lastet der Umgebungsdruck (1 bar).

Auf der Querschnittsfläche A in der Tiefe z lastet außer dem Umgebungsdruck noch die Gewichtskraft F_G des darüber befindlichen Wassers.

$$F_G = mg = \rho V g = \rho z A g$$

$$p(z) = \frac{F_G}{A} = \rho z g$$

Der Druck in einer stehenden Flüssigkeit ist nur abhängig von der Wassertiefe.

8.3 Übung

8.3.1 Luftdruck

"Normalbedingungen" in der Meßtechnik sind 20 °C und 1023 mbar.

Rechnen Sie das um in bar und hPa (hekto-Pascal).

Hinweis: h = hekto = das 100fache.

8.3.2 Tiefe und Druck

An der Wasseroberfläche herrscht ein Druck von 1,000 bar. Wasser hat eine Dichte von 1,000 t / m^3.

0) Rechnen Sie die Dichte um um in kg/l und g/cm^3.

a) Wieviel nimmt der Druck zu pro cm Wassertiefe?

b) Wieviel nimmt der Druck zu pro m Wassertiefe?

c) In welcher Wassertiefe herrscht 1 bar Druck?

d) In welcher Wassertiefe herrschen 2 bar Druck?

8.3.3 Tisch

Ein vierbeiniger Holztisch steht in einem Raum unter Normalbedingungen. Die Tischplatte ist 1m lang und breit.

a) Welche Kraft wirkt auf die Tischoberfläche?

b) Warum bricht der Tisch nicht zusammen?

8.3.4 Luftballon

Ein Taucher ohne Druckanzug nimmt einen aufgeblasenen Luftballon mit in 20 m Wassertiefe.

a) Was passiert mit dem Luftballon?

b) Welcher Druck herrscht in der Lunge des Tauchers?

c) Der Taucher bläst den Luftballon unter Wasser voll auf und läßt ihn dann aufsteigen. Was passiert?

8.3.5 Druck in einer Motorrad-Bremsleitung bei Vollbremsung

Beim Moped zieht der Fahrer zur Vollbremsung den Handbremshebel. Dieser hat eine effektive Länge von 10 cm. Die Handkraft beträgt 200 N.

Der Hebel drückt mit seinem kurzen Ende auf den Geberkolben. Dieser gleitet vor, verschließt das Schnüffelloch (zum Reservoir) und drückt die Bremsflüssigkeit zusammen. Der Kolben hat einen Durchmesser von 8mm.

Die Bremsflüssigkeit reicht diesen Druck weiter an den Nehmerkolben am Vorderrad. Durchmesser = 30mm.

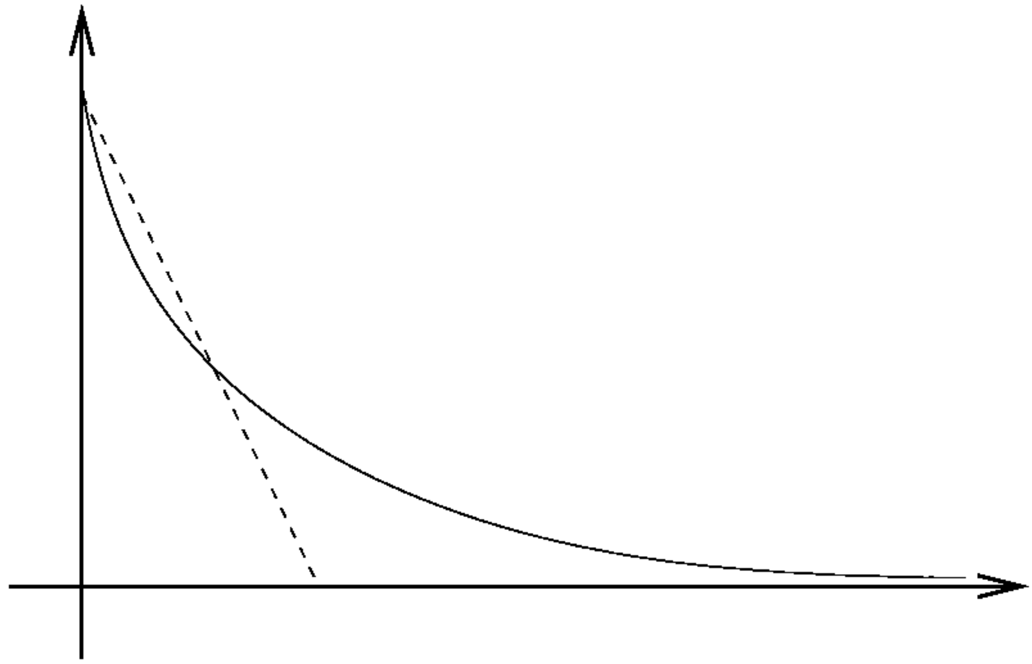
1. Welche Kraft wirkt auf den Kolben?

2. Welcher Druck herrscht in der Bremsflüssigkeit?

3. Mit welcher Kraft wird der Bremsbelag gegen die Bremsscheibe gedrückt?

8.3.6 Weltraum

Luft wiegt ungefähr 1 g / m^3.
a) In welcher Höhe ist der Druck = 0 bar?
b) Beschriften Sie das folgende Diagramm.



9 Energie3

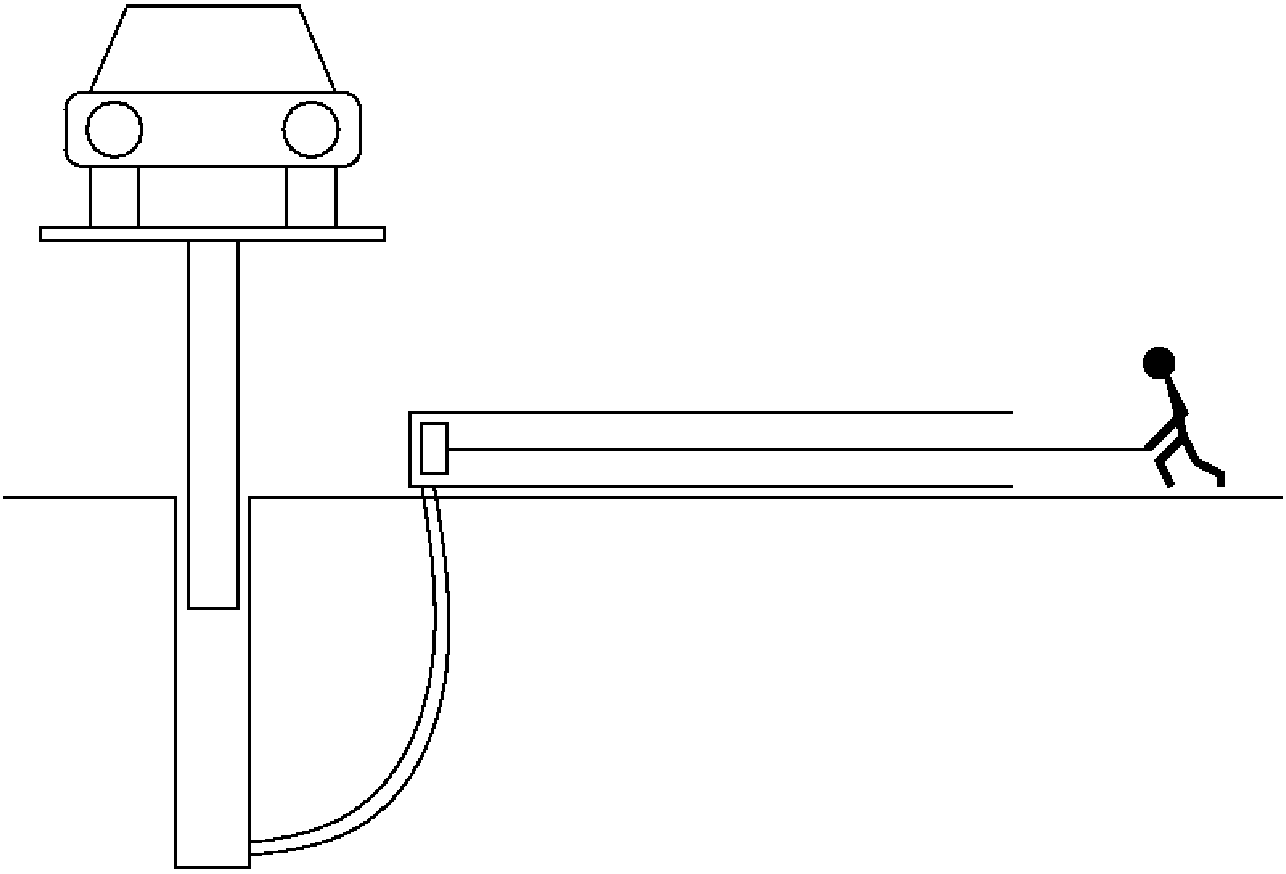
Wenn die Kraft über der ganzen Weglänge gleich ist, gilt:
Arbeit = Kraft * Weg W = F * s

Dies ist insbesondere der Fall beim Anheben von Lasten.

$$g = -9,81m/s^2 \Rightarrow F = m * g \Rightarrow W_{pot} = m * g * h$$

9.1 Übung Hebebühne

Gegeben ist eine Spezial-Hebebühne ohne Hebel.



Auto und Autoträger (Gesamtmasse=1200 kg) werden um 1,8 m gehoben, indem der Arbeitnehmer den Geber-Kolben mittels der sehr langen Kolbenstange in den Geber-Zylinder schiebt. Dabei wandert Öl aus dem Geber-Zylinder in den Nehmer-Zylinder und hebt dabei das Auto hoch.

Nehmerkolben-Durchmesser: 300 mm

Geberkolben-Durchmesser: 50 mm

Öldichte: 850 g / l

Berechnen Sie:

- den Öldruck.
- die Öldruckdifferenz zwischen dem tiefsten und dem höchsten Punkt des Öls. Die Höhendifferenz ist 2m.
- die Haltekraft an der Kolbenstange.
- wieviel Öl der Arbeitnehmer bewegt hat.
- wie weit der Arbeitnehmer schieben mußte.
- welche Energie er dabei in den Kolben gesteckt hat.
- wieviel Energie Auto und Autoträger aufgenommen haben.

10 Auftrieb

Ein Kochtopf schwimmt in Wasser.
Die Kraft, die die Gewichtskraft ausgleicht, ist die Druckkraft am Boden des Kochtopfes.

Die Auftriebskraft ist gleich der Menge des verdrängten Wassers.

10.1 Übung

10.1.1 1 kg Eisen

Welche Gewichtskraft hat 1 kg Eisen a) an der Luft? b) in Wasser? c) in Quecksilber?
$\rho_{Fe} = 7,85t/m^3$, $\rho_{Luft} = 1g/l$, $\rho_{Hg} = 13,5kg/l$,

10.1.2 Schweben

Definieren Sie Schwimmen, ZuBodenSinken und Schweben.
Welche Bedingung muß zum Schweben erfüllt sein?

10.1.3 Archimedes

Archimedes' König ließ sich eine Krone anfertigen. Der Goldschmied versicherte, sie sei aus 100% Gold.
Üblicherweise wurde damals in Griechenland Gold mit 20% Silber gemischt, weil das Silber billiger und schwer nachzuweisen war. Silber hat eine geringere Dichte als Gold.
Wie wies Archimedes nach, daß der Goldschmied gelogen hatte?

10.1.4 Saugheber

Bis zu welcher Höhe funktioniert ein Saugheber?

10.1.5 U-Boot

Wie schafft es ein U-Boot, mal zu tauchen und mal zu schwimmen?

10.1.6 Fluggerät

Was hält a) einen Heißluftballon, b) ein Flugzeug, c) einen Zeppelin, d) einen Blimp in der Luft?
Hinweis: Ein Blimp ist eine Art Zeppelin, bei dem die Außenhülle ihre Form durch den Innendruck erhält. Der Innendruck ist 0,05 bar größer als der Außendruck, das genügt. Beim Zeppelin wird die Gestalt durch das eingebaute Gerüst bestimmt.

10.1.7 Eisberg

Eis hat eine Dichte von 900 (Die Einheit finden Sie bitte selbst heraus).

Neulich wurde ein exakt würfelförmiger Eisberg gesichtet, dessen eine Seite exakt 1m weit aus dem Wasser schaute. Berechnen Sie:

- den Tiefgang und die Kantenlänge,
- die Gewichtskraft des Teils, der aus dem Wasser schaute,
- die Gewichtskraft des Teils, der im Wasser war,
- die Auftriebskraft des Teils, der im Wasser war.

10.1.8 Über alle Berge

Sie wollen mit einem prall gefüllten Blimp von Kalkutta (auf Meerhöhe) über den Himalaya (h_{min} = 5000m üNN) nach Baghdad fliegen.

a) Wo ist das Problem?

b) Wie lösen Sie es?

10.1.9 Gold auf der Luftmatratze

In einem Pool schwimmt ein Goldbarren auf einer Luftmatratze. Durch einen Windstoß fällt er ins Wasser.

a) Was macht die Luftmatratze?

b) Was macht der Goldbarren?

c) Was macht der Wasserpegel des Pools?

11 Hydrodynamik

Hydrodynamik ist die Lehre von den bewegten Flüssigkeiten.

11.1 Kontinuitätsgleichung

Wir unterscheiden bei Flüssigkeiten in Rohren 3 Geschwindigkeitsbereiche:

- **Stehend oder sehr langsam** Die Strömung ist laminar, Reibungsverluste können vernachlässigt werden.
- **langsam** Strömung ist laminar, Reibungsverluste müssen bei der Auslegung berücksichtigt werden.
- **schnell** Strömung ist turbulent, Reibungsverluste müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Wir behandeln nur sehr langsame Strömung.

Flüssigkeiten sind inkompressibel.

Die Geschwindigkeiten von Flüssigkeiten verhalten sich wie die Rohrquerschnitte.

11.2 Bernoulligleichung

Für jedes Volumelement ΔV in einem Rohr gilt:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h + p = const.$$

11.2.1 Sonderfall Stehende Flüssigkeit

Die Gleichung löst sich auf nach der $p(z)$-Gleichung.

11.2.2 Sonderfall Querschnittsverengung

In schnell fließenden Flüssigkeiten ist der Druck kleiner.

An einer Verengung eines Gartenschlauchs wird der Druck manchmal so klein, daß die im Wasser gelösten Gase herauskommen: es blubbert.

An einer Tragfläche werden die oben entlangströmenden Gase über einen weiteren Weg gezwungen. Sie haben höhere Geschwindigkeit, also kleineren Druck, also saugen sie die Tragfläche nach oben.

Lkw-Planen beulen sich an Stellen mit hoher Luftgeschwindigkeit nach außen.

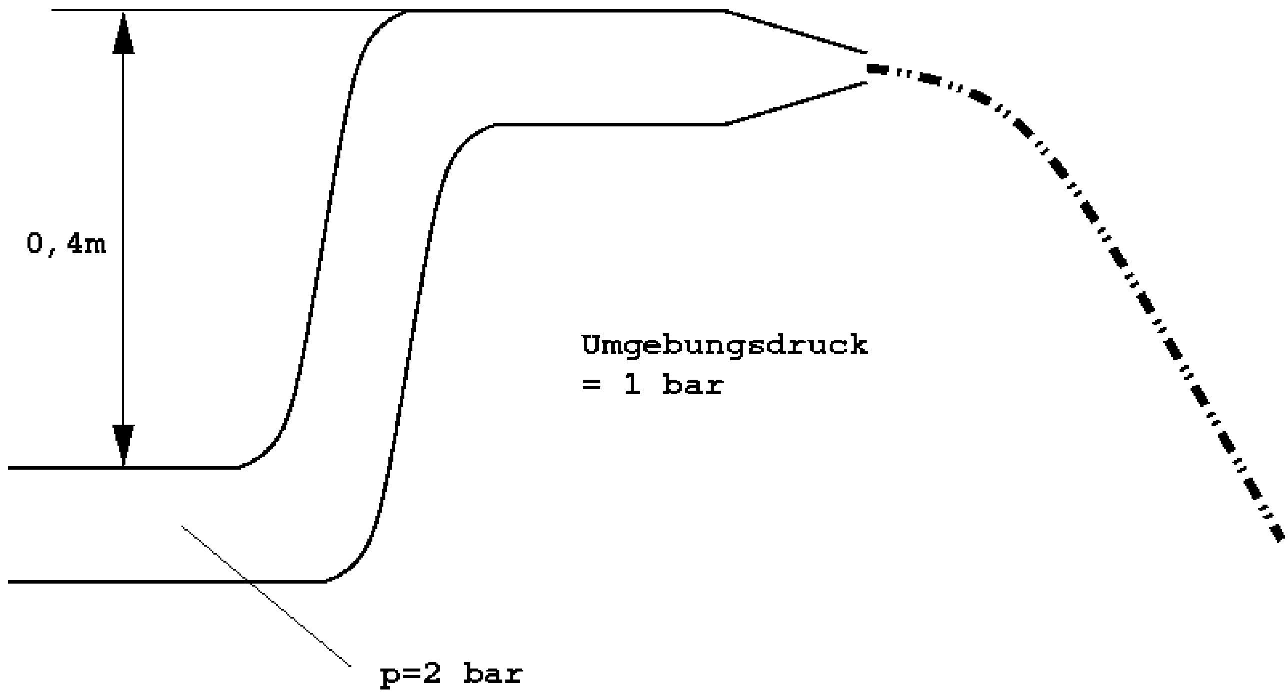
11.3 Übung

11.3.1 Rohr wird dünner

Durch ein Rohr mit 2cm Durchmesser fließen 250cm^3 Wasser pro Sekunde.
a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit.
Im weiteren Verlauf des Rohres nimmt der Durchmesser auf 1cm ab.
b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit.
Das Wasser hatte einen Druck von 2 bar im weiten Teil des Rohres.
c) Berechnen Sie den Druck im engen Teil.

11.3.2 Düse

Wasser strömt durch das gezeigte Rohr. Der Wirkungsgrad der Düse ist 100%.
Berechnen Sie die Ausströmgeschwindigkeit.



12 Gasgesetze

12.1 Bei konstanter Temperatur

Versuch Wir füllen 100 ml Luft in ein Becherglas mit einem ideal dichten Stopfen und drücken sie dann auf 50 ml zusammen.

Ergebnis1: Die Luft wird warm.

Ergebnis2: Nachdem die Luft auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist, herrscht in dem Becherglas ein Druck von 2 bar.

Gesetz von Boyle-Mariotte:
In einer abgeschlossenen Gasmenge bei konstanter Temperatur gilt:
p / ρ = const. oder p * V = const.

12.2 Bei konstantem Druck

Versuch Wir beschweren den Stopfen des idealen Becherglases so, daß bei Umgebungstemperatur (20°C) darin 2 bar herrschen bei 50 ml Füllung und stellen die Temperatur der Luft mittels Heizung oder Kühlung ein.

Ergebnis: Das Volumen des Gases ändert sich mit der Temperatur. 313°C: 100 ml.

606°C: 150ml.

-126.5°C: 25ml.

Wenn wir dies in einem Diagramm auftragen und die Linie ins Kalte verlängern, entsteht dabei eine Gerade. Sie würde die Temperatur-Achse bei -273°C durchstoßen. Die Luft hätte dort ein Volumen von 0.

Dies wird nicht passieren. Vorher werden Teile der Luft flüssig werden und anschließend nicht mehr weiter Volumen verlieren.

Aber solange da nur Luft (Gas) in dem becherglas ist, gilt:

Bei konstantem Druck gilt:
V / T = const.
T ist dabei die Absolute Temperatur. Sie wird in Kelvin angegeben.
0 K sind bei -273.15°C.
Eine Temperaturdifferenz von 30 K ist dasselbe wie eine Temperaturdifferenz von 30°C.

12.3 Bei konstantem Volumen

Versuch Wir sperren 100ml Luft bei konstantem Volumen ein, ändern die Temperatur und messen den Druck.

Ergebnis: Der Druck steigt und fällt mit der Absoluten Temperatur. Bei 0 K würde er 0 bar werden, wenn nichts dazwischenkommt.

Bei konstantem Volumen gilt:
p / T = const.

12.4 Spezifische Gaskonstante

Die Zustandsänderung eines Gases kann beschrieben werden durch

p * v = R * T,
v spezifisches Volumen = 1 / ρ,
Dabei ist R die spezifische Gaskonstante des betrachteten Gases.

Für Luft von 1 bar und 20°C kann man berechnen:
$R_{Luft} = \frac{1bar}{293{,}15K*1{,}2\frac{kg}{m^3}} = 284{,}269\ \frac{Nm}{kg*K}$.
Der tabellierte Wert beträgt 287,04 $\frac{Nm}{kg*K}$.

12.5 Allgemeine Gaskonstante

Man hat festgestellt, daß die spezifischen Gaskonstanten größer werden, wenn die Molmassen u (das ist die Masse eines Gasmoleküls) kleiner werden.

Allgemeine Gaskonstante R_{allg} = $R_{Gas} * u_{Gas} = 8312,68\frac{Nm}{mol*K}$.

Die Gleichung $p * v = R_{allg} * u * T$ beschreibt die meisten Gase.

Gase, die diese Gleichung gut erfüllen, heißen Ideale Gase. Dazu gehören die Edelgase, CO_2 sowie Luft.

12.6 Übung

12.6.1 Bergdorf

Am Meer weht ein landeinwärts gerichteter Wind bei 1013 mbar und 20°C.

Die Luft streicht einen Berg hoch und erreicht in 500m Höhe ein Dorf bei einem Druck von 990 mbar.

Welche Lufttemperatur herrscht in dem Dorf?

12.6.2 Autoreifen

Ein idealer Autoreifen, der sich nicht ausdehnt, wird bei 20°C auf 2,0 bar aufgepumpt. Nach 5 km kurvenreicher Fahrt hat er 50°C erreicht.

a) Welcher Druck herrscht nun in dem Reifen?

Der Fahrer reduziert den Druck in warmem Zustand auf 2,0 bar, fährt nach Hause und fährt am nächsten Morgen, nach Nachtfrost, mit 0°C Reifentemperatur los.

b) Welcher Druck herrscht nun in dem Reifen?

12.6.3 Was soll das?

Stefan baut ein merkwürdiges Gerät:

- Am Anfang sitzt Turbine1 und drückt Umgebungs-Luft auf 3 bar zusammen.
- In der Mitte sitzt ein langes gewendeltes dünnwandiges Kupferrohr, das vom Umgebungsluft umspült wird.
- Am Ende sitzt Turbine2 auf derselben Welle wie Turbine1 und entspannt die Luft wieder.

a) Welche Temperatur hat die Luft am Ausgang von Turbine1 ?

b) Welche Temperatur hat die Luft am Eingang von Turbine2 (ungefähr)?

c) Welche Temperatur hat die Luft am Ausgang von Turbine2 ?

d) Was macht Stefan mit der entsprechend behandelten Luft?

e) Wie möchte Stefan sein Haus heizen?

12.7 Ausgewählte Siedetemperaturen von Wasser

```
p [bar] |  0.025  0.050  0.100  0.200  0.500  0.900  1.000  1.500  2.000

t [°C]  | 21.096 32.898 45.833 60.086 81.345 96.713 99.632 111.37 120.23
```

13 Anwendungen der Gasgesetze (2 B continued)

13.1 Gas vs. Wasser

Daß man das Volumen von Gasen durch Temperaturänderung verändern kann, ist beeindruckend.

Je größer die Volumenänderung, desto größer ist die Maschinenleistung.

Die Volumenänderung ist beim Übergang von gasförmig zu flüssig bzw. umgekehrt viel größer. Deshalb nimmt man in der realen Welt gerne Wasser für Wärmekraftmaschinen, auch Ammoniak (das gibt aber Werkstoffprobleme) oder Kältemittel (zB R134) (das gibt aber Umweltprobleme).

13.2 Dampfmaschine

Unter Druck stehendes Gas enthält Energie, die man ihm gezielt durch zB einen Kolben entnehmen kann. Dabei sinkt Druck und Temperatur des Gases, das Volumen nimmt zu, und der Kolben nimmt Arbeit auf.

Je höher die abgearbeitete Druckdifferenz ist, und je höher der Dampf-Volumenstrom ist, desto höher ist die Leistung.

$$\boxed{\mathbf{P}_{Dampfmaschine} = \eta * \Delta\mathbf{p} * \dot{\mathbf{V}}}$$

η ist dabei der Wirkungsgrad. Da wir den Dampf nicht bis auf Umgebungstemperatur herabkühlen können (und somit Wärmeenergie fortwerfen) und auch nicht bis auf Umgebungsdruck entspannen können (und somit Druck fortwerfen), ist der Wirkungsgrad nicht besonders hoch.

13.3 Speisewasserpumpe

Im Dampfkessel einer Dampflok sind nur 50 l Wasser, damit man ihn relativ schnell aufheizen kann.

Bevor sie verbraucht sind, wird Speisewasser aus dem Tender nachgepumpt. Es wird soviel Speisewasser nachgepumpt, wie im Arbeits-Kolben verbraucht wird.

Mit anderen Worten: hinten kommt das Wasser hinein, vorne wieder heraus. Wie soll man dabei Leistung gewinnen?

(Das Druckgefälle ist zwar dasselbe, aber die Volumenströme sind kraß unterschiedlich.)

13.4 Kondensator

Ich bin mal auf einer Dampflok mitgefahren und fragte die Lokführerin: "Warum fangen Sie den Dampf nicht auf, kühlen ihn bis er flüssig ist, und nutzen das wieder als Speisewasser?"

"Wurde in den 50er Jahren probiert. Hieß Kondensationsmaschine. Lohnte sich nicht - die Instandhaltungskosten des Kondensators waren zu hoch."

13.5 Verbrennungsmotor

Ein Takt ist eine halbe Umdrehung, zB der Kurbelwelle.

13.6 Kraftwerk

13.7 Kühlschrank und Wärmepumpe

14 Kreisbewegung

14.1 Winkelgeschwindigkeit

14.2 Zentripetalkraft

14.3 Trägheitsmoment und Rotationsenergie

15 Schwingungslehre

15.1 Schwingungen in der Technik

15.2 Schwingungsgleichung

15.3 Energiebetrachtung