

AUSBILDUNG ZUR
BERUFSSCHULLEHRPERSON

SIBP B04TZ
Kompetenznachweis 016

Studiengruppe
Kursleiter
Beitrag von

Ausbildungsblock
Ausbildungseinheit
Thema

Kurt Eggenberger
Herr Beat Schären
Hans-Rudolf Niederberger

Fachdidaktik Physik und Chemie
Physik
Mechanik und Wärmelehre

Institut

SIBP
Schweizerisches Institut für Berufspädagogik

Studiengruppe

Kurt Eggenberger

Kurs

B04TZ

Kursleiter

Herr Beat Schären

Beitrag von

Hans-Rudolf Niederberger
Vordergut 1, 8772 Nidfurn

Ausbildungsblock

Fachdidaktik Physik und Chemie

Ausbildungseinheit

Physik

Thema

Mechanik und Wärmelehre

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	1-1
2	Stichwortverzeichnis.....	2-1
3	Zielbeschreibung.....	3-1
4	Wichtige Erkenntnisse.....	4-1
	4.1 Flaschenzug.....	4-1
	4.2 Die relative Atommasse.....	4-2
	4.3 Wärmekapazität.....	4-3
	4.4 Temperaturskalen.....	4-7
	4.5 Längenausdehnung.....	4-10
	4.6 Volumenausdehnung.....	4-12
5	Aufgabenserie zur Mechanik.....	5-1
	5.1 Kräfte.....	5-1
	5.2 Kreisbewegung.....	5-4
	5.3 Arbeit und Energie.....	5-5
6	Aufgabenserie zur Wärmelehre.....	6-1
	6.1 Wärme und Temperatur.....	6-1
	6.2 Wärmekapazität und Wärmeleitung.....	6-3
	6.3 Wärmedehnung.....	6-5

2 Stichwortverzeichnis

Antriebskraft.....	5-5, 5-6	Muskelkraft.....	5-8
Äquator.....	5-4	Nullpunkt der Kelvin-Skala.....	6-2
Bewegungsenergie.....	5-6	Physikalische Stoffwerte reiner Metalle.....	4-3, 4-4
Bimetallauslöser.....	6-5	Physikalische Stoffwerte sonstiger Metalle.....	4-5
Bremsleistung.....	5-7	Potenzflaschenzug.....	4-1
Differential-Flaschenzug.....	4-1, 5-2	Prozent.....	5-4
Eiffelturm.....	6-7	Radiant.....	5-4
Einheit der Kalorie.....	4-6	Reibungskraft.....	5-6
Eisenspeicher.....	6-3	Relative Atommassen.....	4-2
Erdradius am Äquator.....	5-4	Seilabhängung.....	5-3
Erdrotation.....	5-4	Seilrollen.....	5-1
Erdumfang.....	5-4	Stabhochspringer.....	5-8
Faktorflaschenzug.....	4-1	Temperaturwerte in verschiedenen Skalen.....	4-9
Flaschenzug.....	5-1	Thermischer Energie.....	4-3
Fliehkraft.....	5-4	Thermodynamik.....	4-3
Formeln zur Längenausdehnung.....	4-10	Thermosflasche.....	6-4
Formeln zur Volumenausdehnung.....	4-12	Übersicht über die Temperaturskalen.....	4-7
Gewichtskraft.....	5-3, 5-4	Übung Längenausdehnung.....	6-7
Grad.....	5-4	Umrechnung zwischen Temperaturskalen.....	4-8
Haftkoeffizienten.....	5-5	Volumenausdehnung.....	4-12
Haftkraft.....	5-5	Volumenausdehnungskoeffizienten.....	4-13
Hangabtriebskraft.....	5-6	Volumenzunahme.....	6-8
Kinetische Energie.....	5-8	Wärmedehnung.....	6-6
Kohlenstoffisotop.....	4-2	Wärmeenergie.....	6-1
Kraftverstärkung.....	5-1	Wärmekapazität.....	4-3, 6-3
Lageenergie.....	5-6, 5-8	Wärmeleitung.....	6-3
Längenausdehnung.....	4-10	Wasserspeicher.....	6-3
Längenausdehnungskoeffizienten.....	4-11	Weltrekord im Stabhochsprung.....	5-8
Leitungsschutzschaltern.....	6-5	Winkelgeschwindigkeit.....	5-4
Mittlere Energie der Atome.....	6-1	Zentripetalkraft.....	5-5

3 Zielbeschreibung

Für den Kompetenznachweis sind zwei Aufgabenserien zu bearbeiten. Die erste Serie befasst sich mit der Mechanik und der zweite Auftrag mit der Wärmelehre.

4 Wichtige Erkenntnisse

4.1 Flaschenzug

Bei den Flaschenzügen unterscheidet man drei Arten

Römischer Baukran
(Nachbildung)



Faktorflaschenzug

Normalerweise besteht ein Flaschenzug aus losen und festen Rollen. Durch die unterschiedlichen Größen und unterschiedlich gelagerten Rollen (abwechselnd lose und feste Rollen) ist gewährleistet, dass die Seilstücke parallel zueinander verlaufen und sich nicht aneinander reiben. Die festen Rollen sind an einem Gestell fixiert und bewegen sich nicht. Die losen Rollen hängen an dem Seil und ändern somit ihre Lage.

Bei zwei beweglichen Rollen ist nur noch ein Viertel des Kraftaufwandes nötig, dafür muss man viermal so weit ziehen.

$$F_Z = \frac{F_L}{2 \cdot n} \quad l_Z = 2 \cdot n \cdot h$$

F_Z	Zugkraft	N
F_L	Gewichtskraft	N
n	Anzahl loser Rollen	-
l_Z	zu ziehende Seillänge	m
h	Hubhöhe	m

Potenzflaschenzug

Ein Potenzflaschenzug besteht ausschließlich aus losen Rollen. Das Seil jeder Rolle ist an der Stütze befestigt und der nächsten Rolle befestigt. Am Seil der letzten Rolle wirkt die Zugkraft. Dadurch potenziert sich die Wirkung mit der Anzahl der Rollen.

$$F_Z = \frac{F_L}{2^n}$$

F_Z	Zugkraft	N
F_L	Gewichtskraft	N
n	Anzahl loser Rollen	-
r	Kleiner Radius	m

Differential-Flaschenzug

Er besteht aus 2 festen Rollen, die fest mit einander verbunden sind und einen unterschiedlichen Durchmesser haben.

$$F_Z = \frac{F_L}{2} \cdot \frac{R-r}{R}$$

F_Z	Zugkraft	N
F_L	Gewichtskraft	N
R	Grosser Radius	m
r	Kleiner Radius	m

Bis **1861** blieb der Flaschenzug und seine Anwendung weitgehend unverändert. Erst mit dem Differentialflaschenzug, zum ersten Male in **London** eingesetzt, konnte eine Effizienzsteigerung erreicht werden.

4.2 Die relative Atommasse

Die relative Atommasse gibt an, wie groß die Masse eines Atoms im Vergleich zum zwölften Teil der Masse des häufigsten Kohlenstoffisotops (C-12) ist. Die relative Atommasse ist eine dimensionslose Zahl und hat keine Einheit. Die kleinste relative Atommasse hat Wasserstoff mit 1,00794. Mit steigender Ordnungszahl nimmt sie mehr oder weniger kontinuierlich zu. Dennoch hat nicht jedes Element mit der höheren Ordnungszahl auch die größere rel. Atommasse. So hat beispielsweise Tellur (OZ = 52) eine größere rel. Atommasse als Iod (OZ = 53). Das schwerste Element ist das im Dezember 1994 künstlich erzeugte Eka-Gold mit einer relativen Atommasse von ca. 272.

Element	Kurzzeichen	Wertigkeit	relative Atommasse A_r	Ordnungszahl Z
Actinium	Ac	3	(227)	89
Aluminium	Al	3	26,9815	13
Americum	Am	3	(243)	95
Antimon	Sb	3,5	121,75	51
Argon	Ar	0	39,948	18
Arsen	As	3,5	74,9216	33
Astat	At	7	(210)	85
Barium	Ba	2	137,34	56
Berkelium	Bk	3,4	(247)	97
Beryllium	Be	2	9,01218	4
Blei	Pb	2,4	207,19	82
Bor	B	3	10,811	5
Brom	Br	1,5	79,904	35
Cadmium	Cd	2	112,40	48
Calcium	Ca	2	40,08	20
Californium	Cf	3	(251)	98
Cäsium	Cs	1	132,9055	55
Cer	Ce	3,4	140,12	58
Chlor	Cl	1,5,7	35,453	17
Chrom	Cr	2,3,6	51,996	24
Curium	Cm	3	((247)	96
Dysprosium	Dy	3	162,50	66
Einsteinium	Es	3	(254)	99
Eisen	Fe	2,3,6	55,847	26
Erbium	Er	3	167,26	68
Europium	Eu	3	151,96	63
Fermium	Fm	3	(257)	100
Flour	F	1,7	18,9984	9
Francium	Fr	1	(223)	87
Gadolinium	Gd	3	157,25	64
Gallium	Ga	3	69,72	31
Germanium	Ge	4	72,59	32
Gold	Au	1,3	196,9665	79
Hafnium	Hf	4	178,49	72
Hahnium	Ha	5	(261)	105
Helium	He	0	4,00260	2
Holmium	Ho	3	164,9303	67
Indium	In	3	114,82	49
Iridium	Ir	3,4,6	192,22	77
Jod	J	1,3,5,7	126,9045	53
Kalium	K	1	39,102	19
Kobalt	Co	2,3	58,9332	27
Kohlenstoff	C	2,4	12,01115	6
Krypton	Kr	0	83,80	36
Kupfer	Cu	1,2	63,546	29
Kurschatowium	Ku	4	(261)	104
Lanthan	La	3	138,9055	57
Lawrencium	Lr	3	(256)	103
Lithium	Li	1	6,941	3
Lutetium	Lu	3	174,97	71
Magnesium	Mg	2	24,305	12
Mangan	Mn	2,3,4,6,7	54,9380	25
Mendelevium	Md	3	(258)	101

Element	Kurzzeichen	Wertigkeit	relative Atommasse A_r	Ordnungszahl Z
Molybdän	Mo	3,4,6	95,94	42
Natrium	Na	1	22,9898	11
Neodym	Nd	3	144,24	60
Neon	Ne	0	20,179	10
Neptunium	Np	3,4,5,6	237,0482	93
Nickel	Ni	2,3	58,71	28
Niob	Nb	5,3	92,9064	41
Nobelium	No	3	(255)	102
Osmium	Os	2,3,4,8	190,2	76
Palladium	Pd	2,4	106,4	46
Phosphor	P	3,5	30,9738	15
Platin	Pt	2,4	195,09	78
Plutonium	Pu	3,4,5,6	(244)	94
Polonium	Po	2,6	(210)	84
Praseodym	Pr	3	140,9077	59
Promethium	Pm	3	(145)	61
Protactinium	Pa	3	231,0359	91
Quecksilber	Hg	1,2	200,59	80
Radium	Ra	2	226,0254	88
Radon	Rn	0	(222)	86
Rhenium	Re	1,4,7	186,2	75
Rhodium	Rh	8	102,9055	45
Rubidium	Rb	1	85,4678	37
Ruthenium	Ru	3,4,6,8	101,07	44
Samarium	Sm	3	150,35	62
Sauerstoff	O	2	15,9994	8
Scandium	Sc	3	44,9559	21
Schwefel	S	2,4,6	32,064	16
Selen	Se	2,4,6	78,96	34
Silber	Ag	1,2	107,868	47
Silicium	Si	4	28,086	14
Stickstoff	N	2,3,5	14,0067	7
Strontium	Sr	2	87,62	38
Tantal	Ta	5	180,9479	73
Technetium	Tc	7	98,9062	43
Tellur	Te	2,6,4	127,60	52
Terbium	Tb	3	158,9254	65
Thallium	Tl	1,3	204,37	81
Thorium	Th	4	232,0381	90
Thulium	Tm	3	168,9342	69
Titan	Ti	2,3,4	47,90	22
Uran	U	3,4,5,6	238,029	92
Vanadium	V	2,3,4,5	50,9414	23
Wasserstoff	H	1	1,00797	1
Wismut	Bi	3,5	208,9806	83
Wolfram	W	2,3,4,5,6	183,85	74
Xenon	Xe	0	131,30	54
Ytterbium	Yb	2,3	173,04	70
Yttrium	Y	3	88,9059	39
Zink	Zn	2	65,37	30
Zinn	Sn	2,4	118,69	50
Zirkon	Zr	4	91,22	40

4.3 Wärmekapazität

Die **Wärmekapazität** ist ein Begriff aus der Thermodynamik und bezeichnet das Vermögen eines Körpers, Energie in Form von thermischer Energie zu speichern. Sie wird im Allgemeinen durch das Formelzeichen c dargestellt. Per Definition gibt c die Wärmemenge Q (in Joule) an, die einem Körper zugeführt werden muss, um einen Anstieg der Temperatur T (in Kelvin) zu erreichen:

4.3.1 Physikalische Stoffwerte reiner Metalle

Werkstoff	Kurzzeichen	ρ [kg/dm ³] Dichte	t_m [°C] Schmelztemperatur	ρ [Ωmm ² /m] Spez. Widerstand	γ [Sm/mm ²] Spez. Leitwert	$\alpha \cdot 10^{-3}$ [1/K] Temperaturkoeffizient	c [kJ/kgK] Wärmekapazität	λ [W/mK] Spez. Wärmeleitfähigkeit
Aluminium	Al	2,70	660	0,0303	33,0	3,77	0,896	231
Antimon	Sb	6,69	630	0,42	2,4	5,1	0,21	231
Argon								0,016
Barium	Ba	3,60	762	0,4	2,5	9,0	0,277	-
Beryllium	Be	1,86	1285	0,075	13,3	6,7	1,99	159
Blei	Pb	11,34	327	0,21	4,8	4,2	0,128	35
Cer	Ce	6,8	804	0,78	1,28	-	0,188	-
Chrom	Cr	6,9	1903	0,15	6,7	5,9	0,44	67,2
Eisen	Fe	7,86	1539	0,13	7,7	4,6	0,465	72,3
Germanium	Ge	5,35	934	≈890	0,0011	1,4	0,306	-
Gold	Au	19,3	1063	0,023	43,5	4,1	0,133	310
Indium	In	7,31	156					
Iridium	Ir	22,42	2454	0,053	18,9	4,1	0,134	58,5
Kadmium	Cd	8,64	321	0,068	14,7	4,2	-	92,4
Kalium	K	0,86	63,5	0,07	14,3	5,7	0,72	96,2
Kalzium	Ca	1,54	845	0,047	21,3	4,2	-	-
Kobalt	Co	8,83	1492	0,057	17,5	6,6	0,428	68,6
Kupfer	Cu	8,92	1083	0,0175	57	3,9	0,368	380
Magnesium	Mg	1,74	650	0,045	22,2	3,8	0,102	170
Mangan	Mn	7,21	1244	0,046	22,0	5,3	0,486	50
Molybdän	Mo	10,2	2650	0,053	18,9	4,7	0,247	142
Natrium	Na	0,97	97,8	0,043	23,2	5,4	1,165	138
Niob	Nb	8,4	2470	0,217	4,6	3,4	0,272	-
Nickel	Ni	8,9	1453	0,10	10,0	6,0	-	92,2
Osmium	Os	22,48	2700	0,095	10,5	4,45	0,131	-
Palladium	Pd	12,0	1554	0,102	9,8	3,3	0,247	70,3
Platin	Pt	21,45	1769	0,11	9,9	3,8	0,134	71,2
Quecksilber	Hg	13,6	-38,84	0,958	10,44	0,9	0,139	8,05
Radium	Ra	5,5	700					

Werkstoff	Kurzzeichen	ρ [kg/dm ³] Dichte	[°C] Schmelztemperatur	ρ [Ωmm ² /m] Spez. Widerstand	γ [Sm/mm ²] Spez. Leitwert	$\alpha \cdot 10^{-3}$ [1/K] Temperaturkoeffizient	c [kJ/kgK] Wärmekapazität	λ [W/mK] Spez. Wärmeleitfähigkeit
Rhenium	Re	21,03	3180	0,198	5,05	3,1	0,137	-
Rhodium	Rh	12,5	1966	0,043	23,2	4,4	0,247	87,3
Rubidium	Rb	1,52	39,0					
Ruthenium	Ru	12,3	2500	0,144	6,95	4,6	0,241	-
Sauerstoff								0,023
Selen (Metall.)	Se	4,8	220	≈1000	0,001	-	0,377	
Silber	Ag	10,50	961	0,0161	62,0	3,8	0,234	429
Silizium	Si	2,33	1423	≈1000	0,001	-	0,71	-
Stickstoff								0,02
Strontium	Sr	2,63	771	0,308	3,25	3,8	-	-
Tantal	Ta	16,69	2990	0,15	6,67	3,4	0,138	54,5
Titan	Ti	4,5	1668	0,50	2,0	4,2	0,616	-
Uran	U	18,9	1123	0,32	3,13	2,1	0,106	25,67
Vanadium	V	5,98	1890	0,20	5,0	3,5	0,487	-
Wasserstoff	H							0,18
Wismut	Bi	9,8	271	1,2	0,83	4,4	0,125	8,3
Wolfram	W	19,3	3410	0,055	18,2	4,7	0,135	167
Zäsium	Cs	1,83	28,5	0,20	5,0	5,0	-	-
Zink	Zn	7,13	420	0,063	15,8	3,9	0,388	110
Zinn	Sn	7,28	232	0,11	9,1	4,4	0,227	66
Zirkonium	Zr	6,52	1855	0,41	2,44	4,4	0,489	-

4.3.2 Physikalische Stoffwerte sonstiger Werkstoffe

Werkstoff	Kurzzeichen	ρ [kg/dm ³] Dichte	[°C] Schmelztemperatur	ρ [Ωmm ² /m] Spez. Widerstand	γ [Sm/mm ²] Spez. Leitwert	$\alpha \cdot 10^{-3}$ [1/K] Temperaturkoeffizient	c [kJ/kgK] Wärmekapazität	λ [W/mK] Spez. Wärmeleitfähigkeit
Kohlenstoff	C	3,5		35	0,029	-0,45		
Kohlenstoffdioxid								0,015
Kohlenstoffnanoröhren								6000
Bogenlampenkohle	-	1,9		60	0,017	-0,45		2300
Diamant								
Bronze	Bz			0,18	5,56	0,5		120
Messing								
Grauguss							0,54	
Stahl (unlegiert)							0,42	100
Steinsalz							0,84	
Nickelchrom	NiCr8020			1,12	0,893	0,04		
Invar				0,81	1,23	2,5		
Konstantan	WM50			0,50	2,00	0,01		
Messing	MS60			0,067	15,0	4,0		
Beton							0,84	2,1
Granit							0,75	2,8
Kalkzementputz								1,0
Ziegelmauerwerk								0,5-1,4
Luft								0,024
Eis							2,1	2,33
Wasser	H ₂ O	1,0	0				4,187	0,598
Alkohol							2,16	
Polystyrolämmung								0,035-0,050
Glaswolle								0,04-0,05
Glas							0,48	1,0
Wolle							1,3	
Holz							2,5	0,13-0,18

4.3.3 Einheit Kalorie

Seit 1977 ist die Einheit der Kalorie (cal) und der Kilokalorie (kcal) für die Angabe der Wärmeenergie in der Technik nicht mehr zulässig. Für den Zusammenhang sei hier die Umrechnung angegeben:

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal} &= 4,1868 \text{ J} \\ 1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal} &= 4,1868 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4.4 Temperaturskalen

4.4.1 Übersicht über die Temperaturskalen

Skala	Kelvin	Celsius	Fahrenheit	Rankine	Delisle	Newton	Réaumur	Rømer
Einheit	Kelvin	Grad Celsius	Grad Fahrenheit	Grad Rankine	Grad Delisle	Grad Newton	Grad Réaumur	Grad Rømer
Einheitenzeichen	K	°C	°F	°Ra, °R	°De, °D	°N	°Ré, °Re	°Rø
Erster Fixpunkt F_1	$T_0 = 0 \text{ K}$	$T_{\text{Schm}}(\text{H}_2\text{O}) = 0 \text{ °C}$	Winter in Danzig ¹ $= 0 \text{ °F}$	$T_0 = 0 \text{ °Ra}$	$T_{\text{Sied}}(\text{H}_2\text{O}) = 0 \text{ °De}$	$T_{\text{Schm}}(\text{H}_2\text{O}) = 0 \text{ °N}$	$T_{\text{Schm}}(\text{H}_2\text{O}) = 0 \text{ °Ré}$	$T_{\text{Schm}}(\text{H}_2\text{O}) = 7,5 \text{ °Rø}$
zweiter Fixpunkt F_2	$T_{\uparrow}(\text{H}_2\text{O}) = 273,16 \text{ K}$	$T_{\text{Sied}}(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ °C}$	$T_{\text{Mensch}}^1 = 100 \text{ °F}$	-	$T_{\text{Schm}}(\text{H}_2\text{O}) = 150 \text{ °De}$	$T_{\text{Sied}}(\text{H}_2\text{O}) = 33 \text{ °N}$	$T_{\text{Sied}}(\text{H}_2\text{O}) = 80 \text{ °Ré}$	$T_{\text{Sied}}(\text{H}_2\text{O}) = 60 \text{ °Rø}$
Skalenintervall	$(F_2 - F_1) / 273,16$	$(F_2 - F_1) / 100$	$(F_2 - F_1) / 96$	siehe Fahrenheit	$(F_2 - F_1) / 150$	$(F_2 - F_1) / 33$	$(F_2 - F_1) / 80$	$(F_2 - F_1) / 100$
Erfinder	William Thomson („Lord Kelvin“)	Anders Celsius	Daniel Fahrenheit	William Rankine	Joseph Delisle	Isaac Newton	René Réaumur	Ole Rømer
Entstehungsjahr	1848	1742	1724	1859	1732	~1700	1730	1701
Verbreitungsgebiet	Weltweit (SI-Einheit)	weltweit	USA, Jamaika	USA	Russland (19.Jhd.)	-	Westeuropa bis 19. Jhd.	-

¹ Genutzt wurde die gemessene Tiefsttemperatur des Winters 1708/1709 in Danzig (-17,8 °C) und die Körpertemperatur, die Fahrenheit an sich selbst maß (37,8 °C).

4.4.2 Umrechnung zwischen Temperaturskalen

nach \ von	Kelvin-Skala (K)	Celsius-Skala (°C)	Réaumur-Skala (°Ré)	Fahrenheit-Skala (°F)
T_{Kelvin}	$= T_K$	$= T_C + 273,15$	$= T_{Ré} \cdot 1,25 + 273,15$	$= (T_F + 459,67) \div 1,8$
T_{Celsius}	$= T_K - 273,15$	$= T_C$	$= T_{Ré} \cdot 1,25$	$= (T_F - 32) \div 1,8$
T_{Réaumur}	$= (T_K - 273,15) \cdot 0,8$	$= T_C \cdot 0,8$	$= T_{Ré}$	$= (T_F - 32) \div 2,25$
T_{Fahrenheit}	$= T_K \cdot 1,8 - 459,67$	$= T_C \cdot 1,8 + 32$	$= T_{Ré} \cdot 2,25 + 32$	$= T_F$
T_{Rankine}	$= T_K \cdot 1,8$	$= T_C \cdot 1,8 + 491,67$	$= T_{Ré} \cdot 2,25 + 491,67$	$= T_F + 459,67$
T_{Rømer}	$= (T_K - 273,15) \cdot 21/40 + 7,5$	$= T_C \cdot 21/40 + 7,5$	$= T_{Ré} \cdot 21/32 + 7,5$	$= (T_F - 32) \cdot 7/24 + 7,5$
T_{Delisle}	$= (373,15 - T_K) \cdot 1,5$	$= (100 - T_C) \cdot 1,5$	$= (80 - T_{Ré}) \cdot 1,875$	$= (212 - T_F) \cdot 5/6$
T_{Newton}	$= (T_K - 273,15) \cdot 0,33$	$= T_C \cdot 0,33$	$= T_{Ré} \cdot 0,4125$	$= (T_F - 32) \cdot 11/60$
nach \ von	Rankine-Skala (°Ra)	Rømer-Skala (°Rø)	Delisle-Skala (°De)	Newton-Skala (°N)
T_{Kelvin}	$= T_{Ra} \div 1,8$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 40/21 + 273,15$	$= 373,15 - T_{De} \cdot 2/3$	$= T_N \cdot 100/33 + 273,15$
T_{Celsius}	$= T_{Ra} \div 1,8 - 273,15$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 40/21$	$= 100 - T_{De} \cdot 2/3$	$= T_N \cdot 100/33$
T_{Réaumur}	$= T_{Ra} \div 2,25 + 218,52$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 32/21$	$= 80 - T_{De} \cdot 8/15$	$= T_N \cdot 80/33$
T_{Fahrenheit}	$= T_{Ra} - 459,67$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 24/7 + 32$	$= 212 - T_{De} \cdot 1,2$	$= T_N \cdot 60/11 + 32$
T_{Rankine}	$= T_{Ra}$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 24/7 + 491,67$	$= 671,67 - T_{De} \cdot 1,2$	$= T_N \cdot 60/11 + 491,67$
T_{Rømer}	$= (T_{Ra} - 491,67) \cdot 7/24 + 7,5$	$= T_{Rø}$	$= 60 - T_{De} \cdot 0,35$	$= T_N \cdot 35/22 + 7,5$
T_{Delisle}	$= (671,67 - T_{Ra}) \cdot 5/6$	$= (60 - T_{Rø}) \cdot 20/7$	$= T_{De}$	$= (33 - T_N) \div 0,22$
T_{Newton}	$= (T_{Ra} - 491,67) \cdot 11/60$	$= (T_{Rø} - 7,5) \cdot 22/35$	$= 33 - T_{De} \cdot 0,22$	$= T_N$

4.4.3 Einige Temperaturwerte in den verschiedenen Skalen

Messwert \ Skala	Fahrenheit	Rankine	Réaumur	Celsius	Kelvin
mittlere Oberflächentemperatur der Sonne	10 430 °F	10 890 °Ra	4 622 °R	5 777 °C	6 050 K
Schmelzpunkt von Eisen	2 795 °F	3 255 °Ra	1 228 °R	1 535 °C	1 808 K
Schmelzpunkt von Blei	621,43 °F	1081,10 °Ra	261,97 °R	327,46 °C	600,61 K
Siedepunkt von Wasser	212 °F	671,67 °Ra	80 °R	100 °C	373,15 K
höchste im Freien gemessene Lufttemperatur	136,04 °F	595,71 °Ra	46,24 °R	57,80 °C	330,95 K
Körpertemperatur des Menschen nach Fahrenheit	100 °F	559,67 °Ra	30,22 °R	37,78 °C	310,93 K
Gefrierpunkt von Wasser	32 °F	491,67 °Ra	0 °R	0 °C	273,15 K
tiefste Temperatur in Danzig, Winter 1708/09	0 °F	459,67 °Ra	-14,22 °R	-17,78 °C	255,37 K
Schmelzpunkt von Quecksilber	-37,89 °F	421,78 °Ra	-31,06 °R	-38,83 °C	234,32 K
tiefste im Freien gemessene Lufttemperatur	-130,90 °F	328,77 °Ra	-72,40 °R	-90,50 °C	182,65 K
Gefrierpunkt von Alkohol	-173,92 °F	285,75 °Ra	-91,52 °R	-114,40 °C	158,75 K
Siedepunkt von Stickstoff	-320,44 °F	139,23 °Ra	-156,64 °R	-195,80 °C	77,35 K
absoluter Nullpunkt	-459,67 °F	0 °Ra	-218,52 °R	-273,15 °C	0 K

4.5 Längenausdehnung

4.5.1 Formeln zur Längenausdehnung

Erfährt ein Material eine bestimmte Temperaturänderung (Zufuhr von Wärmeenergie), so führt dies zu einer Längenänderung.

Diese Längenänderung wird wie folgt berechnet:

$$l_2 = l_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

$\Delta \vartheta$ oder ΔT	Temperaturdifferenz in	ϑ oder K
l_1	Anfangslänge in	m
l_2	Endlänge in	m
Δl	Längendifferenz in	m
α	Längenausdehnungs- koeffizient in	$1/^\circ C$ oder $1/K$

$$\Delta l = l_1 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

4.5.2 Tabelle der Längenausdehnungskoeffizienten

Längenausdehnungskoeffizienten fester Stoffe zwischen 0° und 100°

Stoff	α 10^{-6} K^{-1}	Stoff	α 10^{-6} K^{-1}
Aluminium	23,8	Natrium	71
Antimon	10,9	Natriumchlorid	40
Azetylzellulose	111	Neusilber	18
Bergkristall	16	Nickel	12,8
⊥ Achse	9,6	Osmium	6,6
∥ Achse	12,3	Palladium	11
Beryllium	12,3	Phenol	290
Beton	≈ 12	Phenolharz	80
Blei	31,3	Phosphor, weiß	124
Bronze	17,5	Platin	9,0
Chrom(ium)	6,6	Platin-Iridium (10 Ir)	8,9
Diamant	1,3	Polyäthylen (Polyethylen)	20
Eisen	12	Polyamide	110
Elektron	24	Polystyrol (Polystyren)	
Gallium	18	III, IV, V, EF	80
Germanium	6	EH, EN	60
Glas, Labortherm N	7,9	Polyvinylchlorid	80
Labortherm G	4,7	Porzellan	3
Labortherm S	3,3	Rhodium	8,5
Quarz-	0,55	Rubidium	90
Rasotherm	3,3	Ruthenium	9,6
Gold	14,3	Schwefel, monoklin	90
Granit	≈ 6	Selen	37
Graphit	7,9	Silber	19,7
Guß Eisen	9,7	Silizium (Silicium)	7,6
Invar	1,5	Stahl	16,0
Iridium	6,6	Chromstahl	10,0
Jod (Iod)	83	Tantal	6,5
Kadmium (Cadmium)	29,4	Tellur	17,2
Kalium	84	Thallium	29
Kaliumchlorid	32	Thorium	11
Kaliumnitrat	78	Vulkanfiber	25
Kobalt (Cobalt)	13	Wismut (Bismut)	13,5
Konstantan	15,2	Wolfram	4,3
Kupfer	16,8	Zäsium (Caesium)	97
Lithium	58	Zellulose	101
Magnesium	26	Ziegel	≈ 8
Mangan	23	Zink	26,3
Messing	18,4	Zinn	27
Molybdän	5,2	Zirkon (Zirconium)	4,8

4.6 Volumenausdehnung

4.6.1 Formeln zur Volumenausdehnung

Erfährt ein Material eine bestimmte Temperaturänderung (Zufuhr von Wärmeenergie), so bewirkt dies zu eine Volumenvergrösserung.

Diese Volumenänderung wird wie folgt berechnet:

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta)$$

$\Delta \vartheta$ oder ΔT	Temperaturdifferenz in	ϑ oder K
V_1	Anfangsvolumen in	m^3
V_2	Endvolumen in	m^3
ΔV	Volumendifferenz in	m^3
γ	Volumenausdehnungs- koeffizient in	$1/^\circ C$ oder $1/K$

$$\Delta V = V_1 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta$$

4.6.2 Tabelle der Volumenausdehnungskoeffizienten

Raumausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten bei 20°

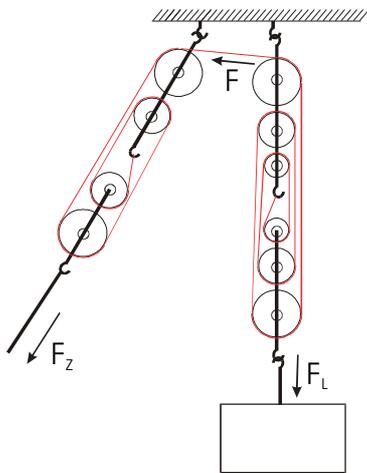
Flüssigkeit	$\frac{\gamma}{10^{-5} \text{ K}^{-1}}$	Flüssigkeit	$\frac{\gamma}{10^{-5} \text{ K}^{-1}}$
Äthanol (Ethanol)	110	Nitrobenzol	
Äthansäure (Ethansäure, Essigsäure)	107	(Nitrobenzen)	83
Äthansäureäthylester		Olivenöl	72
(Ethansäureethylester)	137	Pentan, n-	161
Äthansäuremethylester		Pentanol (Amylalkohol)	90
(Ethansäuremethylester)	14	Propanon (Azeton, Aceton)	149
Äthylazetat (Ethylacetat)	138	Propantriol, Glycerin, Glycerol)	50
Aminobenzol (Anilin, Aminobenzen)	84	Pyridin	112
Benzol (Benzen)	123	Quecksilber	18,2
Brom	113	Salpetersäure	124
Bromäthan (Bromethan)	142	Schwefelsäure	57
Brombenzol (Brombenzen)	92	Silikonöl NM 15	100
Chloräthan (Chlorethan)	117	Terpentinöl	97
Chlorbenzol (Chlorbenzen)	98	Tetrachlormethan	123
Diäthyläther (Diethylether)	162	Tetrahydronaphthalin (Tetralin, Tetrahydronaphthalen)	78
Hexan	135	Tribrommethan (Bromoform)	91
Jodbenzol (Iodbenzen)	83	Trichloräthen (Trichlorethen)	119
Kohlendisulfid (Schwefelkohlenstoff)	118	Trichlormethan (Chloroform)	128
Methanol	120	Wasser	21
Methansäure (Ameisensäure)	102	Zyanwasserstoff (Cyanwasserstoff)	193
Methylbenzol (Toluol, Toluol)	111		

5 Aufgabenserie zur Mechanik

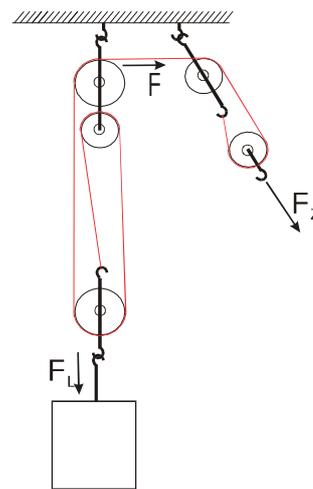
5.1 Kräfte

5.1.1 Der Flaschenzug

Zeichnen Sie einen Flaschenzug bzw. irgend eine Anordnung mit Seilrollen, die eine 1,5-fache Kraftverstärkung bewirkt.



„kürzen führt zur Lösung rechts!“



$$F = \frac{F_L}{6}$$

$$F_Z = \frac{4}{6} \cdot F_L =$$

$$F_Z = \frac{2}{3} \cdot F_L =$$

$$F_Z = \underline{\underline{\frac{F_L}{1,5}}}$$

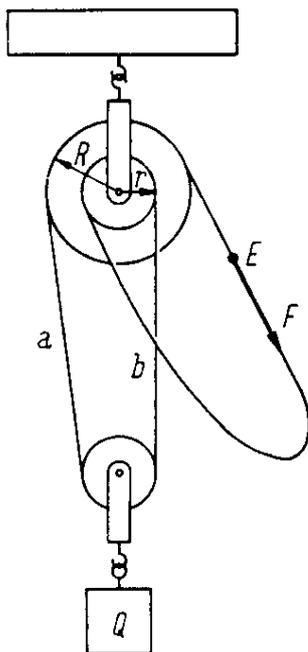
$$F = \frac{F_L}{3}$$

$$F_Z = \frac{2}{3} \cdot F_L =$$

$$F_Z = \underline{\underline{\frac{F_L}{1,5}}}$$

5.1.2 Der Differential-Flaschenzug

Bei der Recherche bin ich über diesen Typ Flaschenzug gestolpert. Ich konnte es nicht unterlassen diesen hier zu dokumentieren.



Er besteht aus 2 festen Rollen, die fest mit einander verbunden sind und einen unterschiedlichen Durchmesser haben. Die Last hängt an einer losen Rolle. Bei diesem Flaschenzugtyp wird ein durchgehendes (d.h. an den Enden verbundenes) Seil verwendet. Das Seil wird von der größeren Rolle zur Last und auf der anderen Seite über die kleinere Rolle zurückgeführt. Durch die Anordnung wirkt das Drehmoment der kleinen Rolle dem der großen Rolle entgegen, sodass nur die Differenz als Zugkraft aufgewandt werden muss; hinzu kommt die Halbierung der Lastkraft durch die lose Rolle. Je kleiner der Durchmesserunterschied zwischen den beiden Rollen ist, desto effektiver arbeitet der Differentialflaschenzug:

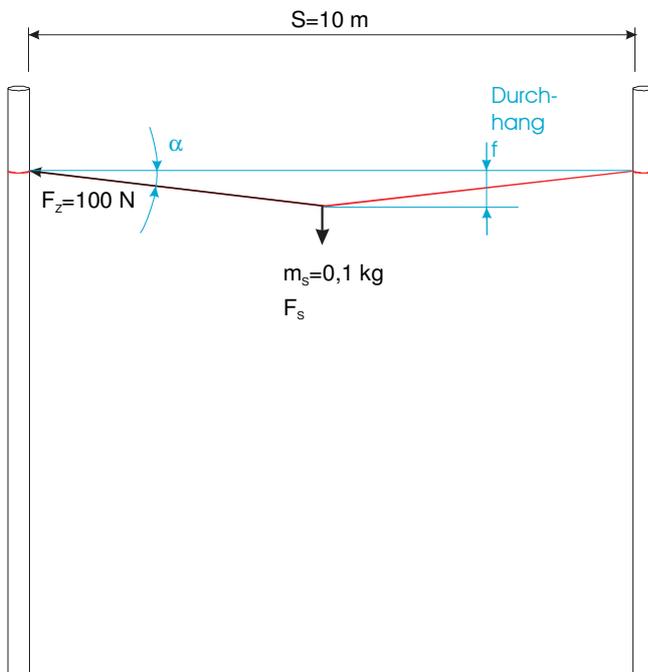
$$F_Z = \frac{F_L}{2} \cdot \frac{R - r}{R}$$

Ein wichtiger Vorteil dieses Flaschenzugtyps ist die Material- und Gewichtsersparnis. Durch das umlaufende Seil ist dessen Länge vom Übersetzungsverhältnis des Flaschenzugs fast unabhängig. Weiterhin sind immer nur drei Rollen erforderlich. Da für die Funktion ein (rutsch-)fester Kontakt der beiden Seile mit den Rollen erforderlich ist, wird bei einem Differentialflaschenzug statt des Seils auch gerne eine Kette verwendet, deren Glieder über verbundene Zahnräder laufen.

**Dieser Flaschenzug funktioniert ebenfalls.
Man muss bei „b“ ziehen, nicht bei E.**

5.1.3 Seilabhängung

Eine 10 m lange Mauer soll einen möglichst graden, ebenen Abschluss erhalten. Ein Arbeiter spannt eine Schnur von einem Pfahl am einen Mauerende zu einem zweiten Pfahl am anderen Mauerende. Die Schnur wiegt etwa 0,1 kg und wird mit 100 N gespannt. Welcher Durchhang (in cm) ist etwa zu erwarten? Vereinfachen Sie das Problem, indem Sie annehmen, die ganze Gewichtskraft der Schnur greife auf halber Schnurlänge (in der Mitte) an. Erläutern Sie Ihre Überlegungen mit Hilfe von Skizzen.



$$F_s = m \cdot g = \frac{0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ kgm}}{s^2} = \underline{0,981 \text{ N}}$$

$$\sin \alpha = \frac{F_s}{F_z} = \frac{0,981 \text{ N}}{100 \text{ N}} = \underline{0,004905}$$

$$\alpha = \underline{0,28104^\circ} \quad \text{tg } \alpha = 4,90596 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{f}{\frac{s}{2}}$$

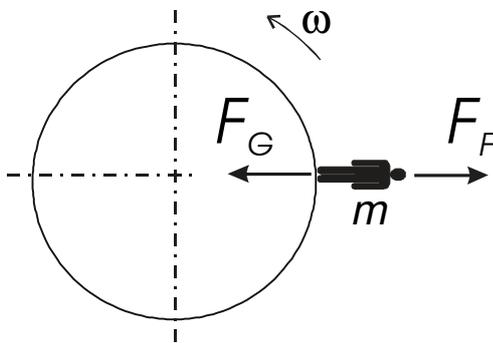
$$f = \text{tg } \alpha \cdot \frac{s}{2} = 0,000490596 \cdot 5'000 \text{ mm} = \underline{\underline{24,53 \text{ mm}}}$$

5.2 Kreisbewegung

5.2.1 Winkelgeschwindigkeit und Fliehkraft

Jeden Tag machen wir eine Weltreise! Die Erdrotation transportiert uns um den ganzen Erdumfang - wenigstens, wenn wir am Äquator wohnen. Berechnen Sie folgende Grössen:

- Wie gross ist die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation in Grad/s und in rad/s?
- Wie viel Prozent der Gewichtskraft macht am Äquator die Fliehkraft aus?



r_{EE}	Erdradius am Äquator	in m
v_{EE}	Geschwindigkeit am Äquator	in m/s
m	Masse 80 kg	

$$\omega_{GRAD} = \frac{360 \text{ GRAD}}{24 \cdot 3600 \text{ s}} = 4 \frac{1}{6} \text{ m GRAD / s}$$

$$\omega_{RAD} = \frac{2 \cdot \pi}{24 \cdot 3600 \text{ s}} = 72,72 \text{ } \mu\text{RAD / s}$$

$$V_{EE} = \frac{2 \cdot r_{EE} \cdot \pi}{24 \cdot 3600} = \frac{2 \cdot 6378,13 \text{ km} \cdot \pi}{24 \text{ h}} = 1669,8 \text{ km / h}$$

$$V_{EE} = \frac{2 \cdot r_{EE} \cdot \pi}{24 \cdot 3600} = \frac{2 \cdot 6'378'130 \text{ m} \cdot \pi}{24 \cdot 3600 \text{ s}} = 463,83 \text{ m / s}$$

$$\eta = \frac{F_F}{F_G} = \frac{\frac{m \cdot v_{EE}^2}{r_{EE}}}{m \cdot g} = \frac{80 \text{ kg} \cdot (463,81 \text{ m / s})^2}{80 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m / s}^2} =$$

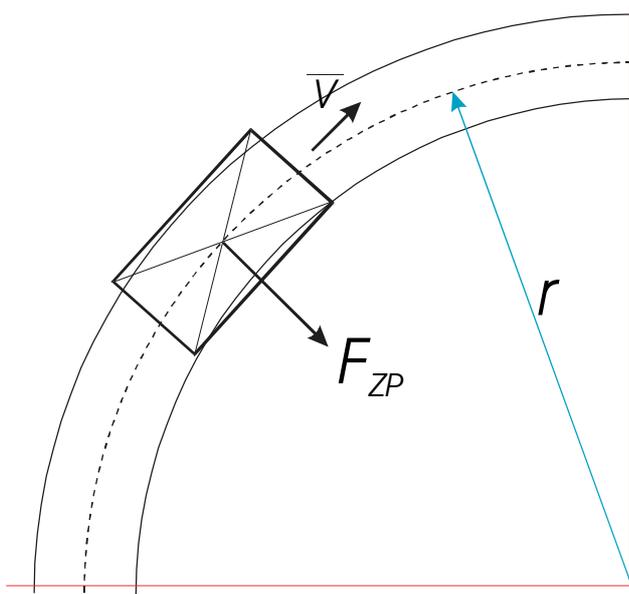
$$\eta = \frac{2,698 \text{ N}}{784,8 \text{ N}} = 0,00344$$

$$\eta_{\%} = \frac{2,698 \text{ N}}{784,8 \text{ N}} \cdot 100\% = 0,344 \%$$

5.3 Arbeit und Energie

5.3.1 Kraftwirkung auf Eisenbahnwagen

Ein Eisenbahnwagen fährt ohne Antriebskraft durch eine Kurve. Offensichtlich üben die Schienen Kräfte auf ihn aus. Weshalb wird der Eisenbahnwagen durch diese Kräfte weder schneller noch langsamer?



Die vorhandenen Kräfte wirken nicht in Bewegungsrichtung und können daher keine Beschleunigung bewirken.

Die Zentripetalkraft F_{ZP} ist die Kraft welche auf den Wagen wirkt, damit dieser eine Kurve fährt.

$$F_{ZP} = \frac{m \cdot v^2}{r} \text{ in N}$$

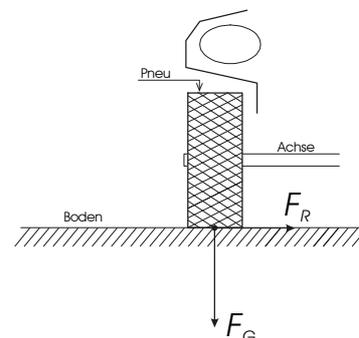
Für die Bestimmung der Haftkraft muss die Reibung berücksichtigt werden. In diesem Augenblick muss die Haftkraft grösser oder gleich der Zentripetalkraft angenommen werden.

Die Besprechung mit Herr Schären war sehr lehrreich und ich befinde mich nun auf der richtigen Spur bezüglich den realen Kräften und den Scheinkräften.

Für die Berechnung des Haftkoeffizienten μ kann folgende Gleichung angesetzt werden:

$$F_R = F_{ZP}$$

$$\mu \cdot m \cdot g = \frac{m \cdot v^2}{r}$$



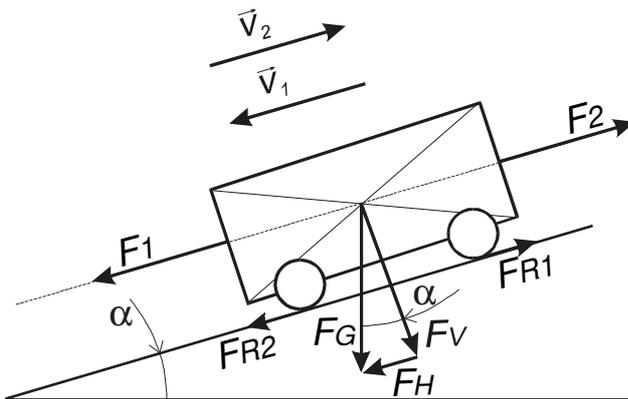
$$F_G = m \cdot g$$

$$F_R = \mu \cdot F_G$$

5.3.2 Eisenbahnwagen in der Steigung

Ein Eisenbahnwagen fährt antriebslos eine Steigung hinan. Weshalb wird der Wagen immer langsamer? Argumentieren Sie

- a) durch die Betrachtung der beteiligten Energien und
b) durch die Betrachtung der beteiligten Kräfte.



a) Energien

Bewegungsenergie
Lageenergie

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h = \text{konst.}$$

Unten, $h = 0 \text{ m}$ $W = \frac{m \cdot v^2}{2}$ in Nm

Oben $v = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $W = m \cdot g \cdot h$ in Nm

b) Kräfte

Kräfte bis Halt bei Bewegung nach oben

Antriebskraft F_2
Reibungskraft $F_{R2} = F_V \cdot \mu = F_G \cdot \cos \alpha \cdot \mu$
Hangabtriebskraft $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$

Kräftegleichung

$$F_2 = F_{R2} + F_H$$

$$F_2 = F_{R2} + F_G \cdot \sin \alpha \quad \text{Annahme: } F_{R2} = 0$$

$$F_2 = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$a = \frac{F_2}{m}$$

$$a = \frac{F_G \cdot \sin \alpha}{m}$$

Die Beschleunigung wirkt gegen die Geschwindigkeit in die Richtung von F_H und bewirkt demzufolge Bremsung. Mit der Reibung F_{R2} würde diese negative Beschleunigung noch verstärkt.

Kräfte bei Bewegung nach unten

Reibungskraft $F_{R1} = F_V \cdot \mu = F_G \cdot \cos \alpha \cdot \mu$
Hangabtriebskraft $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$

Kräftegleichung

$$F_1 = F_H - F_{R1}$$

$$F_1 = F_G \cdot \sin \alpha - F_{R1} \quad \text{Annahme: } F_{R1} = 0$$

$$F_1 = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$a = \frac{F_1}{m}$$

$$a = \frac{F_G \cdot \sin \alpha}{m}$$

Die Beschleunigung wirkt mit der Geschwindigkeit in die Richtung von F_H und bewirkt demzufolge eine Beschleunigung. Mit der Reibung F_{R2} würde diese Beschleunigung kleiner.

5.3.3 Bergbahn bremst bei Talfahrt

Eine Bergbahn bremst bei der Talfahrt. Wenn die Bremsen entsprechend fest angezogen sind (A), erreicht der Wagen eine Geschwindigkeit von 20 km/h. Bei anders angezogener Bremse (B), wird eine Geschwindigkeit von 30 km/h erreicht.

Wir betrachten einen Schienenabschnitt von z. B. 1000 m Länge, wo die erwähnte gebremste Geschwindigkeit konstant bleibt. Wo ist nun die Bremsleistung (die durch die Bremsen pro Zeiteinheit "vernichtete" Energie) grösser, bei A) oder B)? Begründen Sie Ihre Antwort.

A



$v = 20 \text{ km/h}$

B



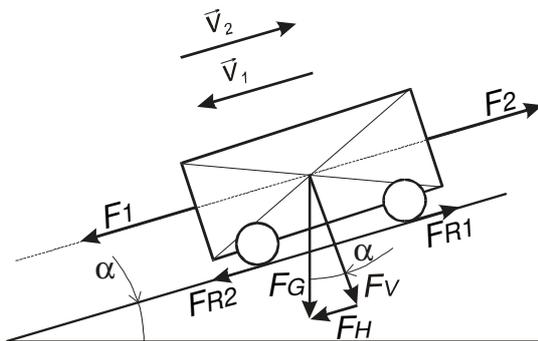
$v = 30 \text{ km/h}$

Die Bahn A benötigt eine kleinere Bremsleistung, da sie für die Strecke mehr Zeit benötigt bei gleichem Energieaufwand.
Die gesamte potentielle Energie wird durch die Bremsung vernichtet.

Die Bahnfahrt B braucht eine grössere Bremsleistung als die Fahrt A.

$$P = F \cdot v$$

Für $v_1 = \text{konst.}$ ist die **Bremskraft** = F_1 ohne Berücksichtigung der Reibung.



Definition der Wertangaben siehe „Eisenbahnwagen in der Steigung“.

Zeit	in s	t_A	>	t_B
Arbeit	in Nm	W_A	=	W_B
Leistung	in W	P_A	<	P_B
Bremskraft	in N	F_A	=	F_B

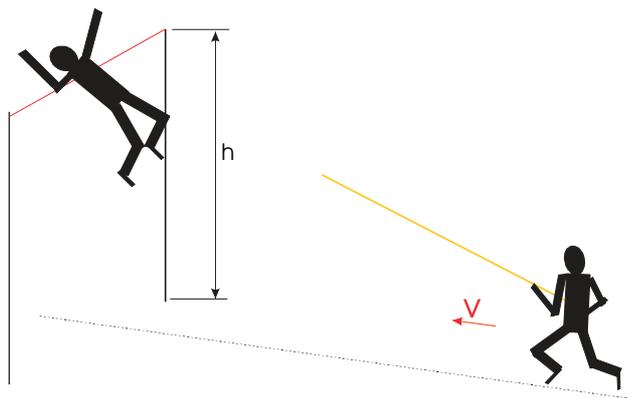
$$\text{Arbeit} = \text{Leistung} \cdot \text{Zeit}$$

$$W = P \cdot t \quad \text{in Ws}$$

5.3.4 Stabhochspringer

Wie schnell muss ein Stabhochspringer laufen, damit seine kinetische Energie ihn (d. h. seinen Schwerpunkt) um 6m anheben kann?

Kommentieren Sie das Resultat: Wie hoch springen Stabhochspringer wirklich, welcher Lageenergie entspricht das, woher stammt die zusätzlich benötigte Energie?



Weltrekord im Stabhochsprung = 6,14 m
(Sergej Bubka, Ukraine)

$$W_{Pot} = m \cdot g \cdot h = 80 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 6 \text{ m} =$$

$$W_{Pot} = 4'708,8 \text{ Nm}$$

$$W_{Kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Der Stabhochspringer muss die Energie für die Lageverschiebung aufbringen. Wir nehmen an, dass der Sportler die potentielle Energie (W_{Pot}) aus seiner Bewegungsenergie (W_{Kin}) zu 100% speist.

$$W_{Pot} = W_{kin}$$

Welche Anlaufgeschwindigkeit ist bei dieser Annahme zu erwarten?

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{kin}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4'708,8 \text{ Nm}}{80 \text{ kg}}} = \underline{\underline{10,85 \text{ m/s}}}$$

Das Resultat zeigt auf, dass der Sportler diese Geschwindigkeit beim Stabhochsprung bzw. beim Anlauf nicht erreichen kann.

Woher stammt die zusätzliche Energie?

Stabhochspringer nehmen die zusätzliche Energie aus der Muskelkraft beim Absprung und beim Abstoßen des Stabes.

Die Kinetische Energie, welcher durch die Biegung im Stab speichert ist (Mechanische Wirkung, Feder) ist nicht ausreichend für dieses Potential zu überwinden.

6 Aufgabenserie zur Wärmelehre

6.1 Wärme und Temperatur

6.1.1

Wie kann man die Wärmeenergie (= innere Energie) eines festen Gegenstandes erhöhen? Kreuzen Sie die zureffenden Möglichkeiten an und nennen Sie zwei Beispiele:

Ja Nein

durch Kontakt mit einem heisseren Gegenstand

durch plastische Deformation (= bleibende Formänderung)

durch elastische Deformation (= federt in die ursprüngliche Form zurück)

Beispiel 1 **durch Kochplatte (ohne Induktion)**

Beispiel 2 **durch Schmieden eines Eisens**

6.1.2

Ein Eisen- und ein Aluminiumstück - Masse je 1 kg - haben dieselbe Temperatur.

a) Bei welchem Stück ist die mittlere Energie seiner Atome grösser?

bei Eisen

bei Aluminium

beide gleich, **da die Temperatur das Mass für die mittlere Energie eines Teilchens (siehe 4.3) ist!**

b) Bei welchem Stück muss ich mehr Energie zuführen, um die Wärme um 1 J zu erhöhen?

bei Eisen

bei Aluminium

beide gleich, **da für beide Elemente die gleiche Energie zugeführt wird!**

c) Bei welchem Stück muss ich mehr Energie zuführen, um die Temperatur um 1 K zu erhöhen?

bei Eisen

bei Aluminium, **da für mehr Teilchen mehr Energie notwendig wird für die mittlere Temperatur zu**

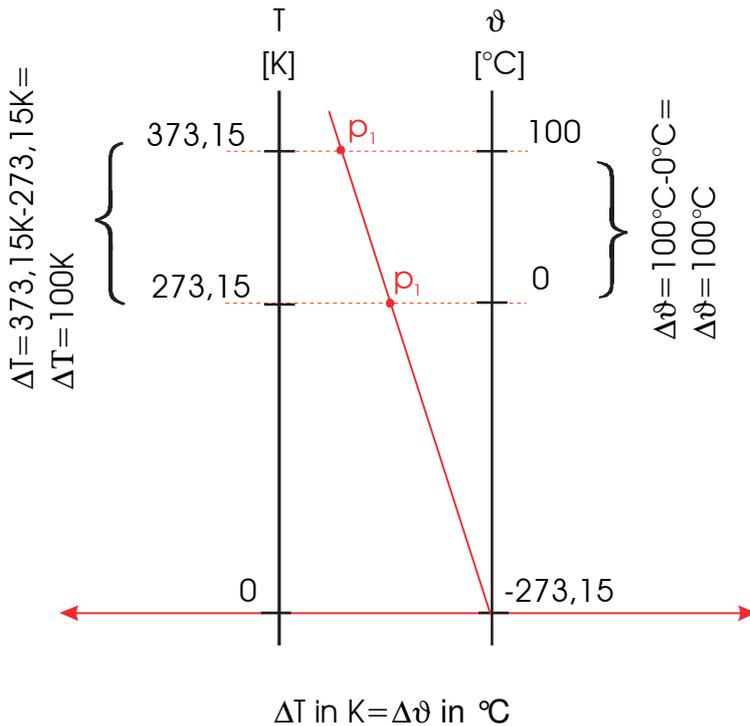
beide gleich

6.1.3

Wie kann man den Nullpunkt der Kelvin-Skala messtechnisch bestimmen (wenn die Celsius-Skala bekannt ist) ?

Zu einem einfacheren Verständnis des Kelvins gelangt man durch Rückführung auf die Temperatureinheit „Grad Celsius“. Der Nullpunkt der Kelvinskala liegt am absoluten Nullpunkt bei $-273,15\text{ °C}$.

Diese Temperatur ist nach dem Nernst'schen Wärmesatz nicht erreichbar, da Teilchen bei 0 K keine Bewegungsenergie hätten (die verbleibende Energie – Nullpunktsenergie – ist ein Ergebnis der Heisenberg'schen Unschärferelation).



Zuerst werden zwei Druckwerte an den Stellen $\vartheta = 0\text{ °C}$ und $\vartheta = 100\text{ °C}$ bei konstantem Volumen bestimmt. Der Schnittpunkt mit der Temperaturachse, führt zum Temperaturwert $\vartheta = -273,15\text{ °C}$. An dieser Stelle befindet sich der Absolute Nullpunkt in Kelvin.

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{konst.}$$

$$P_2 = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \cdot P_1 \text{ für } V_1 = V_2 = \text{konst.}$$

Die Temperatur ist eine Basisgrösse. Die Einheit, der Temperatur ist in Kelvin.
Das Kelvin ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.

$$\vartheta(\text{in } ^\circ\text{C}) = T(\text{in K}) - 273,15$$

$$\vartheta = T - T_0$$

$$T = \vartheta + T_0$$

Temperaturdifferenzen haben in der Kelvin-Skala und in der Celsius-Skala gleiche Beträge.

$$\Delta T = \Delta \vartheta$$

Es ergeben sich folgende Fixpunkte für reines Wasser

	ϑ [°C]	T [K]	p [kPa]
Absoluter Nullpunkt	-	0	101,325
Erstarrungspunkt	0,00	273,15	101,325
Tripelpunkt	0,01	273,16	0,6106
Siedepunkt	100,00	373,15	101,325

T	Absolute Temperatur in	K
ϑ	Temperatur in	°C
T_0	Nullpunkt der Celsius-Skala	273,15 K

$p = p_n = 101,325\text{ kPa}$ = Normaldruck = Luftdruck auf Meereshöhe bei 15 °C im Jahresdurchschnitt. Die Berechnungen werden meist bei diesen Rahmenbedingungen (Annahmen) durchführen.

Die Kelvin-Skala hat ihren Nullpunkt bei der tiefsten Temperatur, die theoretisch denkbar ist (absoluter Nullpunkt - die Moleküle schwingen nicht mehr). Bei gleicher Gradgrösse liegt der Nullpunkt der Celsiuskala beim Erstarrungspunkt des Wassers. Tiefere Temperaturen sind negativ. Kelvin- und Celsius - Skala sind demnach lediglich gegeneinander versetzt.

6.2 Wärmekapazität und Wärmeleitung

6.2.1

Ein Hausbesitzer möchte die Wärme seiner Sonnenkollektor-Anlage nicht in einem Wassertank speichern, sondern in einem Eisenklotz. Er verspricht sich davon, dass der Speicher kleiner wird. Das Gewicht spielt ja bei einer ortsfesten Anlage keine grosse Rolle.

Berechnen Sie die Wärmekapazität (in J/K) für einen 2 m³ grossen Wassertank und für einen 2 m³ grossen Eisenspeicher. Vergleichen Sie die Werte und kommentieren Sie das Ergebnis.

Eisenspeicher

$$m_{Fe} = V_{Fe} \cdot \rho_{Fe} =$$

$$m_{Fe} = 2 \text{ m}^3 \cdot 7860 \text{ kg / m}^3 =$$

$$m_{Fe} = \underline{15'720 \text{ kg}}$$

$$Q_{Fe} = m_{Fe} \cdot c_{Fe} \cdot \Delta T =$$

$$Q_{Fe} = 15'720 \text{ kg} \cdot 465 \text{ J / kgK} \cdot 1K =$$

$$Q_{Fe} = \underline{7'309'800 \text{ J pro K}}$$

Wassertank

$$m_W = V_W \cdot \rho_W =$$

$$m_W = 2 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg / m}^3 =$$

$$m_W = \underline{2000 \text{ kg}}$$

$$Q_W = m_W \cdot c_W \cdot \Delta T =$$

$$Q_W = 2'000 \text{ kg} \cdot 4'180 \text{ J / kgK} \cdot 1K =$$

$$Q_W = \underline{8'360'000 \text{ J pro K}}$$

Kommentar

Wie das Ergebnis zeigt, vermutet der Hausbesitzer falsch wenn er glaubt einen kleineren Eisenspeicher einbauen zu können. Die grössere Dichte von Eisen wird durch die grössere Wärmekapazität des Wassers wettgemacht.

6.2.2

Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter (beispielsweise verglichen mit Metallen). Weshalb verwendet man trotzdem Wasser in Zentralheizungen?

Kommentar

Wasser als neutrale Flüssigkeit mit einer grossen Wärmekapazität ist der ideale Wärmeträger zu den zu beheizenden Räumen.

Weiter kann Wasser mit verschiedenen Heizsystemen erwärmt werden.

Die Wärmeleitung zu den Räumen wird mit Pumpen realisiert.

Material	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]
Wasser	0,598
Silber	429,0
Kupfer	395,0
Aluminium	231,0

6.2.3

Beschreiben Sie drei Konstruktionsmerkmale, die bei einer Thermosflasche für einen möglichst geringen Wärmeverlust sorgen sollen.

Konstruktionsmerkmale

Konventionelle Konstruktion

- Glasgefäss mit Doppelwand
- Wärmereflektierend beschichtet
- Evakuierender Zwischenraum

Moderne Konstruktion mit etwas schlechterer Wärmedämmeigenschaft

- Edelstahl mit Doppelwand
- Evakuierender Zwischenraum



Die **Thermoskanne** ist ein verschließbares Gefäß, das den **Temperatenausgleich** der aufbewahrten **Flüssigkeit** (Getränk, Suppe) mit der Umgebungstemperatur stark verzögert. Dabei kann die Flüssigkeit sowohl heiß als auch kalt gegenüber der Umgebung sein. Sichtbar ist dabei das **Gehäuse** aus **Kunststoff** oder **Edelstahl**, in dem dann in der klassischen Ausführung ein Glasgefäß mit einer Doppelwand sitzt. Zur Verbesserung der **Wärmedämmung** enthält dieses Glasgefäß einen **evakuierten** Zwischenraum und ist mit einem **wärmereflektierenden** Material beschichtet. Durch diese Konstruktion wird der Wärmetransport über **Infrarotstrahlung** und durch **Konvektion** verzögert. Die Abdichtung oben wird in der Urversion mit einem großen **Korken**, heutzutage meist mit einem Kunststoffverschluss realisiert.

Das Glasgefäß ist ein so genanntes **Dewargefäß**, das **1890** von dem Physiker **James Dewar** erfunden wurde. Unabhängig davon entdeckte schon früher der Chemnitzer Professor **Adolf Ferdinand Weinhold** (nach **1870**) ebenfalls dieses Prinzip. **Reinhold Burger** verkaufte **1903** das **Patent** für die Thermosflasche.

Die ersten Thermoskannen stellte **1904** die deutsche **Thermos GmbH** her, die damit Namensgeberin wurde.

Heutzutage wird statt des Glasgefäßes auch häufig ein doppelwandiges Gefäß aus **Edelstahl** eingesetzt. Es hat etwas schlechtere Wärmedämmeigenschaften, ist aber im Alltag sehr viel unempfindlicher gegenüber Erschütterungen und spitzen Gegenständen (z. B. beim Spülen). Oft wird das Edelstahlgefäß mit einer Edelstahlhülle zu einer Thermoskanne kombiniert. Das Funktionsprinzip wird auch bei **Solaranlagen** mit **Vakuumkollektoren** genutzt.

6.3 Wärmedehnung

6.3.1 Vorteile der Wärmedehnung fester Gegenstände

Nennen Sie drei technische Anwendungen, bei denen man die Wärmedehnung fester Gegenstände ausnützt.

Thermostat bei
Wasssererwärmern



Bimetallauslöser in
Leitungsschutzschaltern



Bimetallauslöser in
Motorschutzschaltern



Schalter für Wärmeplatten



Sicherheitsthermostat
Blitzkochplatte

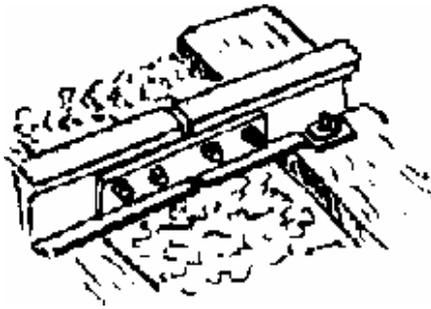


Zeigerthermometer mit
Bimetall

6.3.2 Nachteile der Wärmedehnung fester Gegenstände

Nennen Sie drei Situationen, wo die Wärmedehnung fester Gegenstände nachteilig ist.

Eisenbahnschienen
(Geräusche vom Schienenstoss)



Brücken
(spezielle Lagerung)



Holzhaus
(knarren)



Bersten von Fensterscheiben durch
Wärmespannung.

Lagererwärmung

6.3.3 Berechnung der Längenänderung am Eiffelturm

Berechnen Sie den Unterschied der Höhe des Eiffelturmes im Sommer verglichen mit dem Winter.

Eiffelturm



Basisdaten

Ort	Paris
Verwendung	Wahrzeichen
Bauzeit	1887 - 1889
Architekt	Stephen Sauvestre
Konstrukteur	Gustave Eiffel
Baustil	Hochindustrialisierung

Technische Daten

Höhe	300,51 m (324,8 m mit Antenne)
Breite	124,9 m
Tiefe	124,9 m
Stockwerke	3 Aussichtsetagen
Baustoff	Eisen im Puddel-Verfahren verarbeitet (siehe Stahl)
Gewicht	Stahlkonstruktion: 7'300 Tonnen Gesamtgewicht: ca. 10'100 Tonnen
Stufen	1665 (laut offizieller Homepage)

Für die Berechnung wird eine Temperaturdifferenz von 40°C angenommen.

$$\Delta l = l_1 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta =$$

$$\Delta l = 300 \text{ m} \cdot 16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 40 \text{ }^\circ\text{C} =$$

$$\Delta l = \underline{0,192 \text{ m}}$$

$$\Delta l = \underline{\underline{19,2 \text{ cm}}}$$

Der Eiffelturm verändert seine Höhe zwischen Sommer und Winter um 19,2 cm.

(Längenausdehnungskoeffizienten siehe 4.5.2)

6.3.4 Volumenzunahme einer Tankfüllung Benzin

Beim vollgetankten Auto kann im Sommer Benzin aus dem Tank auslaufen. Wie viel macht die temperaturbedingte Volumenzunahme aus, wenn sich das kühle Benzin aus dem unterirdischen Tank im vollen 60-Liter-Tank des Autos um 20 Grad erwärmt?



$$\Delta V = V_1 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta =$$

$$\Delta V = 60 \text{ l} \cdot 123 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 20^\circ\text{C} =$$

$$\Delta V = \underline{\underline{1,476 \text{ l}}}$$

(Volumenausdehnungskoeffizienten siehe 4.6.2)