

Fachmethodenordner

Physik

Nellenburg-Gymnasium Stockach

Copyright

Herr StD Michael Renner entwickelte im Auftrag der Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen, Steinbeisstraße 1, 73730 Esslingen, im Rahmen der ZPG-I-Fortbildung im Fach Physik einen Methodenordner. Die Landesakademie stellt diesen Methodenordner unter der Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de> auf dem Landesbildungsserver der Öffentlichkeit zur Verfügung (2010):

<http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/physik/gym/fb1/experiment/meth/>

Herr StD Thomas Mühl überarbeitete und erweiterte diesen Methodenordner. Der Methodenordner von Herrn Mühl wurde 2011/2012 von Herrn Dr. Markus Ziegler überarbeitet und erweitert. Der Fachmethodenordner Physik des Gymnasiums Spaichingen ist eine überarbeitete und erweiterte Version des Methodenordners von Herrn Ziegler. Wir danken Herrn Mühl, Herrn Renner und Herrn Ziegler für ihre gute Vorarbeit. Der Fachmethodenordner in der jetzigen Form ist noch nicht vollständig. Wir werden unseren Fachmethodenordner zumindest jährlich überarbeiten und erweitern. Unseren Methodenordner steht ebenfalls unter der Lizenz

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de>

Autoren:

Andreas Herlet, Uwe Lodahl, Anton Meßmer, Daniel Pulvermüller, Marco Sattel, Dr. Markus Ziegler

Der Fachmethodenordner des Gymnasiums Stockach basiert auf dem Spaichinger Methodenordner und wurde für die Belange des Physikunterrichts in Stockach durchgesehen und angepasst.

Darüber hinaus wurde die Portierung nach \LaTeX unternommen. Die Quelldatei ist für die Verwendung der X_{\LaTeX} -Engine vorgesehen.

Diagramme wurden in PSTricks übertragen, lediglich Fotos und GTR-Bildschirme werden als externe Bilder eingebunden. Daher gehören zur Quelldatei die extern einzubindenden Bilddateien zwingend dazu. Diese Dateien dürfen daher nur als Verzeichnis weitergegeben werden und unterliegen ebenfalls der Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de>.

Autor: Nils Schuller

Hinweis: Da das Nellenburg-Gymnasium derzeit ein G9-Gymnasium ist, beginnt der Physikunterricht erst in Klasse 8. Um in der Zählung aber unabhängig zu sein, ist der Text nach Unterrichtsjahren und nicht nach Klassen angeordnet. Entsprechend wurde auch die Seitennummerierung nicht durchlaufend, sondern abschnittsweise vorgenommen, um spätere Einfügungen mit weniger Aufwand vornehmen zu können.

Inhaltsverzeichnis

0	Naturphänomene	1
0.1	Protokoll	1
0.2	Experimente planen	2
1	Physik 1.Jahr	1
1.1	Physikalische Größen	1
1.2	Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega	1
1.3	Arbeiten mit Schaubildern	2
1.3.1	Schaubilder	2
1.3.2	Werte aus Schaubildern ablesen	2
1.3.3	Schaubilder mithilfe einer gegebenen Wertetabelle zeichnen	3
1.3.4	Schaubilder beschreiben	3
1.4	Umgang mit Texten	4
1.5	Messung von elektrischen Stromstärken und Spannungen	4
2	Physik 2.Jahr	1
2.1	Physikalische Größen	1
2.2	Interpretation von Formeln	2
2.3	Umstellen von Formeln	2
2.4	Lösen von einfachen Rechenaufgaben	4
2.5	Funktionale Zusammenhänge und Proportionalitäten erkennen	5
2.5.1	Proportionalitätsvermutung anhand eines Schaubildes	5
2.5.2	Proportionalitätsvermutung und Überprüfung anhand einer Wertetabelle	5
2.6	Ausgleichsgerade	6
3	Physik 3.Jahr	1
3.1	Physikalische Größen	1
3.2	Bedeutung der Vorsilben Piko, Nano, Mikro, Milli, Kilo, Mega, Giga und Tera	2
3.3	Kohärente SI-Einheiten	2
3.4	Eckige Klammern und kohärente Einheiten	2
3.5	Änderung einer physikalischen Größe (Differenz)	2
3.6	Geltende Ziffern	3
3.7	Arbeiten mit Schaubildern	4
3.7.1	Schaubilder anhand einer gegebenen Formel zeichnen	4
3.7.2	Schaubilder erklären	5
3.7.3	Schaubilder interpretieren	5
3.8	Funktionale Zusammenhänge und Proportionalitäten erkennen	6
3.9	Proportionalitätsvermutung und Überprüfung	6
3.10	Proportionalitäten an einer Formel ablesen	8
3.11	Unbekannte Formeln	9
3.12	Umstellen von Formeln	10
3.13	Naturwissenschaftliche Arbeitsweise	11
3.13.1	Ablaufschema naturwissenschaftliche Arbeitsweise	11
3.13.2	Planung eines Experimentes (allgemein)	12
3.13.3	Durchführung des Experiments	12
3.13.4	Auswertung des Experiments	13
3.14	Aufbau eines Protokolls	14

4	Physik 4.Jahr	1
4.1	Physikalische Größen	1
4.2	Skalare und Vektoren	2
4.3	Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar	2
4.4	Vektoraddition	3
4.5	Änderung einer physikalischen Größe	5
4.6	Auswerten mit dem GTR	7
4.7	Auswerten mit dem WTR	9
5	Physik Kursstufe	1
5.1	Einheitenbetrachtung	1
5.2	Rechnen mit komplexeren Formeln und Normdarstellung	1
5.3	Messgenauigkeit und Fehlerrechnung	2

0 Naturphänomene

0.1 Protokoll

Durch das Protokoll werden Versuche dokumentiert. Ein Protokoll hat folgende Form:

Name:	Klasse:	Datum:
	<u>Überschrift</u>	
Aufgabenstellung:	Frage oder These	
Material:	Materialliste	
Versuchsdurchführung:	Skizze + Beschreibung de Versuchs	
Beobachtung:	Was konnte man wahrnehmen? (sehen, hören, fühlen, riechen, schmecken)	
Erklärung:	Warum und weshalb ist der Versuch so abgelaufen? (Wissen, Regel, Gesetz)	

- **Kopf** Der Kopf des Protokolls muss Name, Klasse, und Datum sowie das Thema des Protokolls (Überschrift) enthalten.
- **Aufgabenstellung** Zu jedem Experiment gehört eine Frage, die man mit diesem Experiment beantworten möchte oder eine These, die man bestätigen oder widerlegen möchte. Die Frage soll dazu dienen herauszufinden, wann oder wie etwas funktioniert. Beispiel: „Wie muss man die Magnete aneinander halten, damit sie sich abstoßen?“ Eine These könnte lauten: „Wenn man 2 gleiche Pole aneinander hält, stoßen sie sich ab.“
- **Material** Hier wird eine Liste des verwendeten Materials angegeben.

- **Versuchsdurchführung** Der Versuchsaufbau wird mit einer Skizze dargestellt und das Vorgehen bei der Durchführung des Versuches beschrieben, sodass der Leser den Versuch nachvollziehen kann. Auch Sicherheitshinweise gehören hier her.
- **Skizzen anfertigen** Zur Veranschaulichung eines Versuchsaufbaus, eines technischen Geräts, eines Lebewesens oder eines Vorgangs ist es oft hilfreich, eine einfache Zeichnung zu erstellen. Eine solche Zeichnung wird auch Skizze genannt. Diese Zeichnung muss nicht maßstabsgetreu sein. Es müssen auch nicht alle Einzelheiten in die Skizze eingezeichnet werden. Es genügen die wesentlichen Merkmale.
- **Beobachtung** Beim Beobachten werden Abläufe in der Natur, im Experiment oder in der Technik bewusst wahrgenommen (durch Sehen, Hören, Fühlen, Schmecken oder Riechen). Man achtet besonders darauf,
 - wie ein Vorgang zeitlich abläuft,
 - wie ein Experiment aufgebaut ist,
 - wie ein Gerät aufgebaut ist,
 - welche Veränderungen vorkommen werden.

Hilfreich sind folgende Formulierungen:

zur Beschreibung von Ursache und Wirkung: „Wenn ..., dann ...“

Beispiel: „Wenn man den Schalter schließt, dann leuchtet das Lämpchen“,

zur Beschreibung von Abhängigkeiten: „Je ..., desto ...“

Beispiel: Je größer das Volumen von Wasser ist, desto größer ist die Masse des Wassers.

- **Erklärung** Die Erklärung gibt die Begründung dafür, weshalb man etwas beobachten konnte, warum ein Experiment oder ein Vorgang genau so abgelaufen ist. Die Erklärung beinhaltet das Wissen, welches man über den Vorgang hat und beinhaltet oft eine Regel (Gesetz). Beispiel: Gleiche magnetische Pole stoßen sich ab. Oder ein Modell: Alle Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen.

0.2 Experimente planen

Bevor mithilfe eines Versuchs eine Fragestellung beantwortet werden kann, muss das Experiment geeignet geplant werden, d. h., das Experiment muss so geplant werden, dass man durch das Experiment eine Antwort auf die Fragestellung erhält. Bei der Planung eines Experimentes muss man sich überlegen,

- welche Geräte man dazu braucht,
- wie das Experiment aufgebaut werden soll,
- wie man das Experiment durchführen soll.

1 Physik 1.Jahr

1.1 Physikalische Größen

Zur Beschreibung der Natur verwendet man physikalische Größen. Sie sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, dass man sie *messen* kann. Für manche Größen gibt es Messgeräte, mit denen man die Größe direkt messen kann, z.B. ein *Thermometer* für die Temperatur, ein *Maßband* für die Länge oder eine *Stoppuhr* für die Zeitspanne.

Physikalische Größen werden durch **Formelzeichen** dargestellt. Zur Angabe des Werts einer physikalischen Größe gehört immer die **(Maß-)Zahl** und die **Maßeinheit** (oder kürzer **Einheit**). Beispiel: $s = 10 \text{ m}$.

Für die meisten Größen gibt es verschiedene Einheiten, die sich zum Teil nur in der Zehnerpotenz unterscheiden (Beispiel: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ mit Vorsilbe Kilo für 1000). Bei manchen Einheiten ist die Umrechnung etwas komplizierter (Beispiel: $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$).

Das internationale Einheitensystem (SI, von französisch *Système international d'unités*) legt für sieben Größen eine Basiseinheit fest, aus denen sich alle anderen Einheiten ableiten lassen. Basiseinheiten sind: Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere, Kelvin, Mol und Candela. Dieses Einheitensystem wird als *kohärent* bezeichnet, da sich jede Einheit als Produkt von Potenzen dieser Basiseinheiten schreiben lässt (Beispiel: $\text{J} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$).

Tabelle physikalischer Größen mit Formelzeichen und Einheiten			
physikalische Größe	Formelz.	Einheiten	Beispielangabe
Zeit	t	s (Sekunde); min, h, d, a	$t = 10 \text{ s}$
Weg	s	m (Meter); mm, cm, dm, km	$s = 2 \text{ m}$
Fläche	A	m^2 (Quadratmeter); mm^2, \dots , a, ha	$A = 2,4 \text{ m}^2$
Volumen	V	m^3 (Kubikmeter); mm^3, \dots	$V = 1,7 \text{ m}^3$
Geschwindigkeit	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Meter pro Sekunde); $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Masse	m	kg (Kilogramm); g, t	$m = 85 \text{ kg}$
Energie	\mathcal{E}, W	J (Joule); kJ, MJ	$W = 1500 \text{ J}$
Leistung (Energiestromstärke)	P	W (Watt); kW, MW, GW	$P = 60 \text{ W}$
Druck	p	Pa (Pascal); bar (1 bar = 100 000 Pa)	$p = 101\,300 \text{ Pa}$
elektrische Ladungsmenge	Q	C (Coulomb)	$Q = 0,001 \text{ C}$
elektrische Stromstärke (Ladungsstromstärke)	I	A (Ampere)	$I = 0,02 \text{ A}$
elektrisches Potenzial	φ	V (Volt)	$\varphi = 0 \text{ V}$
elektrische Spannung	U	V (Volt)	$U = 12 \text{ V}$
Periodendauer	T	s (Sekunde); min, ...	$T = 0,0023 \text{ s}$
Frequenz	f	Hz (Hertz)	$f = 440 \text{ Hz}$
Amplitude	\hat{s}	m (Meter); mm, ...	$\hat{s} = 0,05 \text{ m}$

1.2 Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega

Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega sind Vorsätze für Einheiten. Sie geben Faktoren an, mit denen die Maßzahl zu multiplizieren ist.

- Milli bedeutet $\frac{1}{1000}$. Die Abkürzung für Milli ist: m. Beispiel: $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$
- Zenti bedeutet $\frac{1}{100}$. Die Abkürzung für Zenti ist: c. Beispiel: $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$

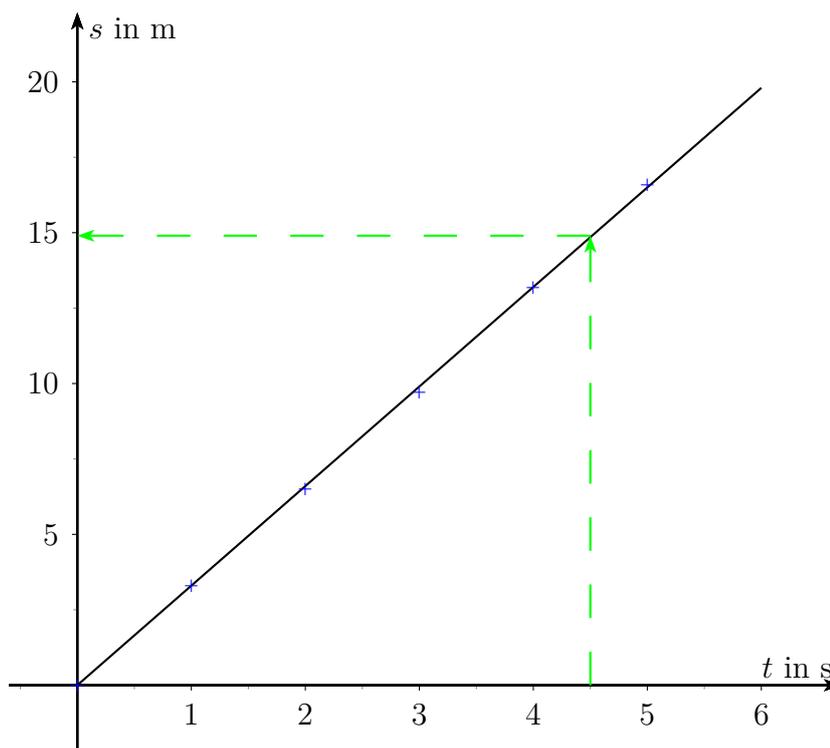
- Dezi bedeutet $\frac{1}{10}$. Die Abkürzung für Dezi ist: d. Beispiel: 1 dm = 0,1 m
- Kilo bedeutet 1 000. Die Abkürzung für Kilo ist: k. Beispiel: 1 kV = 1000 V
- Mega bedeutet 1 000 000. Die Abkürzung für Mega ist: M. Beispiel: 1 MW = 1 000 000 W

1.3 Arbeiten mit Schaubildern

1.3.1 Schaubilder

In Schaubildern können Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen anschaulich dargestellt werden. Die Achsen werden mit den physikalischen Größen und den zugehörigen Einheiten bezeichnet. Oft verwendet man für die physikalischen Größen nur die Formelzeichen.

Spricht man zum Beispiel von einem Zeit-Weg-Schaubild, dann wird auf der horizontalen Achse (x -Achse) die Zeit t und auf der vertikale Achse (y -Achse) der zurückgelegte Weg s aufgetragen. Allgemein wird die zuerst genannte Größe (hier Zeit) auf der x -Achse und die andere Größe (hier Weg) auf der y -Achse aufgetragen. Das Schaubild zeigt dann, wie die auf der y -Achse aufgetragene Größe von der auf der x -Achse aufgetragenen Größe abhängt. Da die Zeit das Formelzeichen t hat, der Weg das Formelzeichen s , spricht man hier auch von t - und s -Achse.



1.3.2 Werte aus Schaubildern ablesen

Ist der x -Wert gegeben und möchte man den zugeordneten y -Wert ablesen, hier also t - und s -Wert, geht man wie folgt vor:

1. Man beginnt auf der t -Achse an dem gegebenen t -Wert.
2. Von dort bewegt man sich parallel zur s -Achse (eventuell mit dem Geodreieck eine Hilfsgerade einzeichnen) bis man das Schaubild erreicht (gestrichelter grüner Pfeil).
3. Vom Schaubild aus bewegt man sich parallel zur t -Achse (eventuell mit dem Geodreieck eine Hilfsgerade einzeichnen), bis man die s -Achse erreicht (2. gestrichelter grüner Pfeil). Den gesuchten

s -Wert kann man nun an dieser Stelle der s -Achse ablesen.

1.3.3 Schaubilder mithilfe einer gegebenen Wertetabelle zeichnen

Eine Wertetabelle ist gegeben:

Zeit t in s	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
zurückgelegter Weg s in m	0,0	3,3	6,5	9,7	13,2	16,6

1. Zuerst muss man entscheiden, auf welcher Achse der Weg bzw. die Zeit aufgetragen wird. Da die Zeit die „automatisch“ veränderliche Größe ist, zu der den der jeweilige Weg bestimmt wird, also zeichnet man im Normalfall ein Zeit-Weg-Schaubild, d. h., auf der x -Achse wird die Zeit und auf der y -Achse der Weg aufgetragen. In diesem Fall zeigt das Schaubild dann die Abhängigkeit des Weges von der Zeit an.
2. Danach wählt man einen geeigneten Zeichenmaßstab, so dass das Schaubild nicht zu klein ist, aber dennoch auf die Seite passt. Hier könnte man z. B. folgenden Maßstab verwenden: x - bzw. t -Achse: 1 cm entspricht 0,5 s, also 2 cm entspricht 1 s ; y - bzw. s -Achse: 1 cm entspricht 2 m.
3. Anschließend zeichnet man die Achsen des Schaubildes und beschriftet diese mit der dazugehörigen Größe und Einheit (z. B. Zeit in s, Weg in m).
4. Anschließend zeichnet man die in der Tabelle gegebenen Wertepaare als Punkte in das Koordinatenkreuz ein. Beispiel: Das Wertepaar Zeit $t = 2,0$ s, Weg $s = 6,5$ m wird mit dem Zeichenmaßstab umgerechnet:
2,0 s entsprechen 4 cm
6,5 m entsprechen 3,25 cm
und anschließend möglichst genau eingezeichnet (Zeichengenauigkeit 0,5 mm).
5. Schließlich müssen die „Lücken zwischen den Punkten“ gefüllt werden. Ist zum Beispiel bekannt, dass die Größen voneinander proportional abhängen, dann ist ihr Schaubild eine Ursprungsgerade. Daher versucht man die Gerade so zu legen, dass die Abweichungen nach unten und oben ungefähr gleich groß sind. Eine solche Gerade nennt man auch Ausgleichsgerade. Ist nichts über den allgemeinen Verlauf der Kurve bekannt, verbindet man die Punkte im Allgemeinen durch eine geeignete, möglichst glatt verlaufende Kurve. Die einzelnen Messpunkte müssen nicht genau auf der Kurve liegen.

1.3.4 Schaubilder beschreiben

Beschreibungen dürfen *keine Erklärungen oder Interpretationen enthalten*, d. h., es wird nur der im gegebenen Schaubild sichtbare Zusammenhang zwischen den dargestellten physikalischen Größen genau beschrieben.

Beispiel: Zeit-Weg-Schaubild (siehe oben):

„Zum Startzeitpunkt ($t = 0$ s) ist der Läufer am Startpunkt ($s = 0$ m). Mit zunehmender Zeit nimmt auch die Laufstrecke gleichmäßig zu, um etwas mehr als 3 Meter pro Sekunde. Nach 5 Sekunden hat der Läufer 16,6 Meter zurückgelegt“

1.4 Umgang mit Texten

Um wichtige Informationen aus einem Text zu entnehmen, zu dem du eine konkrete Aufgabenstellung gegeben hast, bietet sich folgende Vorgehensweise an:

1. Lies zunächst die Aufgabenstellung genau durch, bevor du den Text liest. Es muss dir klar sein, auf was du beim Lesen des Textes besonders achten solltest. Dies ist dann der Fall, wenn du die Aufgabenstellung in eigenen Worten wiedergeben kannst.
2. Lies den Text und markiere dabei die wichtigsten Stellen. Dies können z.B. einzelne Begriffe, aber auch ganze Sätze sein.
3. Löse nun die Aufgabe. Verwende hierbei eigene Formulierungen. Deine Sätze sollten kurz und präzise sein.

1.5 Messung von elektrischen Stromstärken und Spannungen

Um elektrische Stromstärken und Spannungen zu messen, verwenden wir ein sogenanntes *Multi-meter*, also Vielfachmessgerät. Diese können außer I und U auch noch Widerstände, Kapazitäten, Frequenzen und Dioden-Durchlassspannungen messen.

Um eine Stromstärke bzw. eine Spannung korrekt zu messen, müssen aber unbedingt folgende 3 Schritte beachtet werden:

1. Schalte das Messgerät mit dem Drehschalter in den richtigen **Messbereich**: V= (Volt) für Gleichspannung, $V\sim$ für Wechselspannung oder mA bzw. A ((milli)Ampere) für Stromstärke. Bei Stromstärken wird die Umschaltung zwischen Gleich- und Wechselstrom mit dem grünen Druckschalter in der Mitte des Drehschalters vorgenommen. Die Anzeige des Messgerätes zeigt dann die gewählten Einstellungen an:

Autorange bedeutet, dass der Messbereich automatisch gewählt wird, egal ob der Messwert z.B. 0,01 V oder 10 V beträgt, d.h. das Komma wird entsprechend verschoben. Links neben dem Messwert zeigt DC („direct current“) Gleichstrom oder AC („alternating current“) Wechselstrom an. Unterhalb des Messwertes wird die Einheit der Messung angezeigt: V für Volt, bzw. mA oder A für Milliampere bzw. Ampere. (siehe Abbildungen)



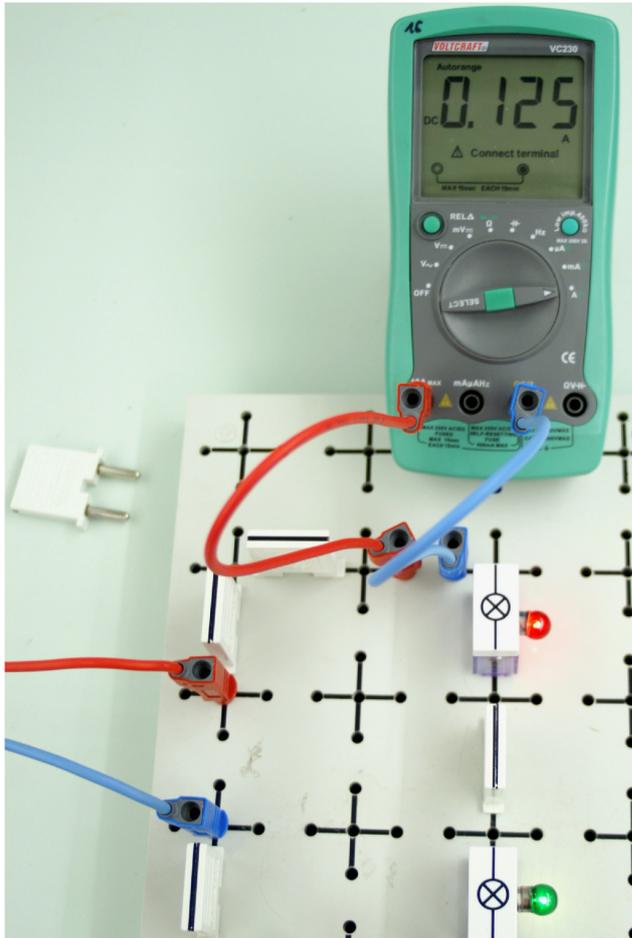
2. Schließe das Messgerät mit den richtigen **Buchsen** an. Das Gerät zeigt immer an, welche Buchsen du bei der gewählten Einstellungen verwenden musst: Unter der Anzeige **Connected terminal** findest du zwei Kreise, die mit zwei der Buchsen unten korrespondieren in die du die Stecker entsprechend einsteckst (siehe Abbildungen oben).

Dabei wird die 3. Buchse (COM) **immer** verwendet, die 1. Buchse (A) für Stromstärkemessung im Bereich ab ca. 0,1 Ampere, die 2. Buchse (mA) für Stromstärkemessung im Bereich bis 400 Milliampere oder die 4. Buchse (V) für Spannungsmessung.

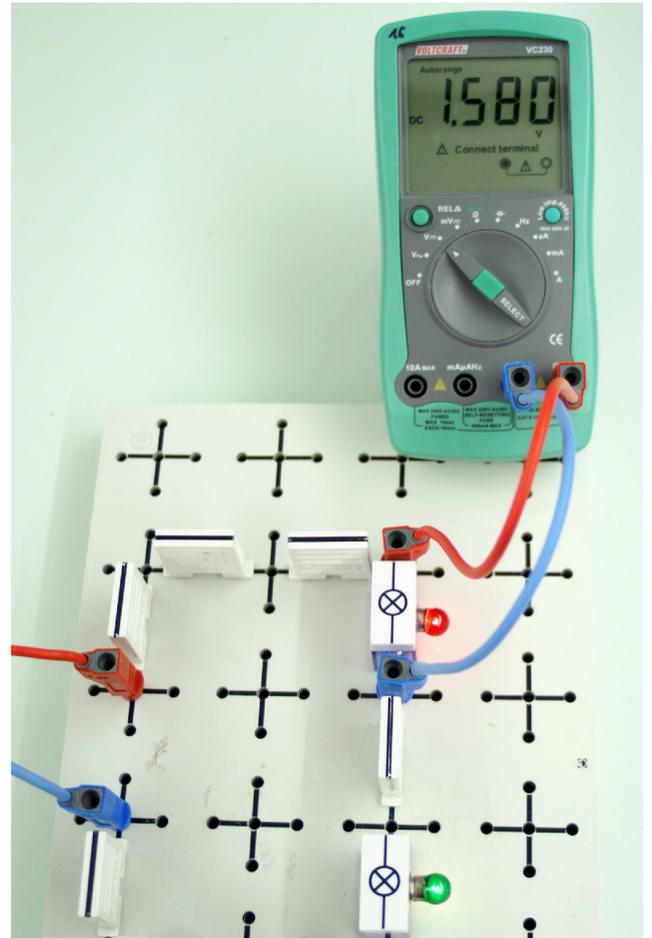
Achtung: Der Messbereich mA hat eine automatische Sicherung bei Überlastung, die bei Stromstärken über 400mA auslöst und nach Entfernen der Überlastung wieder einschaltet. Der Messbereich A darf nur bis **maximal** 10A belastet werden, da sonst die im Gerät eingebaute Sicherung *durchbrennt und ausgetauscht werden muss!*

- Schließe das Messgerät richtig im Stromkreis an: Als **Amperemeter** (Stromstärke) **in Reihe**, als **Voltmeter** (Spannung) **parallel**. Das heißt zur Stromstärkemessung wird der Stromkreis an einer Stelle unterbrochen und über das Amperemeter wieder geschlossen. Zur Spannungsmessung bleibt der Kreis unverändert, das Voltmeter wird als Verzweigung an die beiden Punkte angeschlossen, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll.

Messung einer Stromstärke:



Messung einer Spannung:



Wird das Multimeter als Amperemeter verwendet, dann muss sein Innenwiderstand möglichst klein sein, damit die zu messende Stromstärke wegen der Reihenschaltung möglichst wenig absinkt. Daher fließen durch ein Amperemeter schon bei geringen Spannungen hohe Ströme! Wird das Multimeter als Voltmeter verwendet, dann muss sein Innenwiderstand möglichst groß sein, damit die zu messende Spannung wegen der Parallelschaltung möglichst wenig abgeschwächt wird. Daher fließen durch ein Voltmeter sehr kleine Ströme.

4. Typische Fehler:

- (a) Ein **Amperemeter** wird **parallel** zum Verbraucher geschaltet.

Folge: Am Amperemeter liegt dieselbe Spannung wie am Verbraucher, die Stromstärke ist in der Regel zu groß und die automatische Sicherung (im Messbereich **mA**) springt an bzw. die 10A-Schmelzsicherung (im Messbereich **A**) brennt durch und muss ersetzt werden! Man erhält in diesem Fall gar keinen Messwert.

Ausnahme: Die Stromquelle ist eine einzelne Monozelle, die parallel an die **A**-Buchse angeschlossen wird: Hier misst man den sogenannten Kurzschlussstrom der Batterie, der bei einigen Ampere liegt.

- (b) Ein **Voltmeter** wird **in Reihe** in den Stromkreis geschaltet.

Folge: Der hohe Innenwiderstand des Voltmeters unterdrückt den Stromfluss im Kreis. Dadurch erhalten die Verbraucher nicht mehr die benötigte Stromstärke. Allerdings zeigt das Voltmeter trotzdem eine Spannung an, die im Wesentlichen die sogenannte Leerlaufspannung der Spannungsquelle ist.

Dies ist zwar ein Messwert, aber (in den allermeisten Fällen) der falsche.

2 Physik 2.Jahr

2.1 Physikalische Größen

Grundlagen:

- Bedeutung der Vorsilben Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega: siehe Abschnitt 1.2
- Beispiele für die Verwendung von Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega: siehe Abschnitt 1.2

Tabelle physikalischer Größen mit Formelzeichen und Einheiten			
physikalische Größe	Formelz.	Einheiten	Beispielangabe
Zeit	t	s (Sekunde); min, h, d, a	$t = 10 \text{ s}$
Weg	s	m (Meter); mm, cm, dm, km	$s = 2 \text{ m}$
Fläche	A	m^2 (Quadratmeter); mm^2, \dots , a, ha	$A = 2,4 \text{ m}^2$
Volumen	V	m^3 (Kubikmeter); mm^3, \dots	$V = 1,7 \text{ m}^3$
Geschwindigkeit	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Meter pro Sekunde); $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Masse	m	kg (Kilogramm); g, t	$m = 85 \text{ kg}$
Energie	\mathcal{E}, W	J (Joule); kJ, MJ	$W = 1500 \text{ J}$
Leistung (Energiestromstärke)	P	W (Watt); kW, MW, GW	$P = 60 \text{ W}$
Druck	p	Pa (Pascal); bar (1 bar = 100 000 Pa)	$p = 101\,300 \text{ Pa}$
elektrische Ladungsmenge	Q	C (Coulomb)	$Q = 0,001 \text{ C}$
elektrische Stromstärke (Ladungsstromstärke)	I	A (Ampere)	$I = 0,02 \text{ A}$
elektrisches Potenzial	φ	V (Volt)	$\varphi = 0 \text{ V}$
elektrische Spannung	U	V (Volt)	$U = 12 \text{ V}$
Periodendauer	T	s (Sekunde); min, ...	$T = 0,0023 \text{ s}$
Frequenz	f	Hz (Hertz)	$f = 440 \text{ Hz}$
Amplitude	\hat{s}	m (Meter); mm, ...	$\hat{s} = 0,05 \text{ m}$
Impuls	p	$\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{Hy}$ (Huygens)	$p = 1500 \text{ Hy}$
Kraft (Impulsstromstärke)	F	N (Newton) = $\frac{\text{Hy}}{\text{s}} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$F = 7,5 \text{ N}$

Die Bedeutung von Δ :

Häufig ist man nicht am absoluten Wert einer Größe interessiert, bzw. kann diesen Wert gar nicht bestimmen, sondern nur an der Differenz zweier Werte. Hebt man beispielsweise einen Gegenstand an, so sind die Anfangs- und die Endhöhe unerheblich, interessant ist die Hubhöhe, also der Abstand zwischen Anfangs- und Endhöhe. (Anfangs- und Endhöhe sind Werte, die absolut nicht angegeben werden können: Höhen kann man z.B. auf Meereshöhe beziehen oder auf Erdbodenhöhe am Ort oder auf Raumbodenhöhe oder ...)

Dieser Abstand, die *Differenz* zweier Werte derselben Größe wird mit dem Symbol Δ („Delta“) gekennzeichnet: $\Delta h = h_{\text{Ende}} - h_{\text{Anfang}} = \text{Differenz zweier Höhen} = \text{Hubhöhe}$

2.2 Interpretation von Formeln

Physikalische Gesetze beschreiben den Zusammenhang zwischen physikalischen Größen. Dieser Zusammenhang wird häufig in einer Formel zusammengefasst. Formeln sind mathematische Gleichungen. Rechts und links vom „=“ steht das Gleiche! Wird zum Beispiel die rechte Seite groß, wird auch die linke Seite groß. Kommen Brüche vor, muss man aufpassen: Zum Beispiel wird ein Bruch kleiner, wenn der Nenner größer wird.

Beispiel: Dichte ρ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

In dieser Formel stecken mehrere Informationen:

- Die Dichte eines Körpers hängt von den physikalischen Größen Masse und Volumen ab.
- Bei konstantem Volumen gilt: Je größer die Masse, desto größer die Dichte.
- Bei konstanter Masse gilt: Je größer das Volumen, desto kleiner die Dichte.

2.3 Umstellen von Formeln

Grundsätzlich lässt sich jede Formel nach jeder vorkommenden Größe auflösen. Dabei gelten die Regeln der Mathematik (Äquivalenzumformungen)! Ziel dabei ist es, die gesuchte Größe auf einer Seite zu isolieren und alle anderen Größen auf die andere Seite zu schaffen. Dieses Isolieren einer Größe nennt man *Umstellen* oder *Auflösen nach der Größe*.

Generell sollte man **immer** zuerst die Formel nach der gesuchten Größe auflösen, bevor man Werte einsetzt und ausrechnet.

Vorbemerkung: Die einfachsten physikalischen Formeln verknüpfen 3 Größen miteinander, wie z.B. $v = \frac{s}{t}$. Daher hat man immer mit Quotienten bzw. Brüchen zu tun. Erinnerung dich, dass $\frac{s}{t} = s : t$ ist, der Bruchstrich also *geteilt durch* bedeutet.

1.Fall
<ul style="list-style-type: none">• Gegeben sind s und t• Gesucht ist v• In diesem Fall muss die Formel $v = \frac{s}{t}$ nicht umgestellt werden

2.Fall	
<ul style="list-style-type: none"> • Gegeben sind v und t • Gesucht ist s • In diesem Fall muss die Formel $v = \frac{s}{t}$ nach s umgestellt werden 	
$v = \frac{s}{t} \quad \cdot t$ $v \cdot t = \frac{s}{t} \cdot t \quad \text{ rechts } t \text{ kürzen}$ $v \cdot t = s$	<p>Um s zu isolieren, muss t von der rechten Seite entfernt werden. Da t auf der rechten Seite im Nenner ($: t$) steht, muss die Umkehroperation auf die Gleichung angewandt werden, d.h. wir multiplizieren beide Seiten zunächst mit t.</p> <p>Anschließend können wir auf der rechten Seite t kürzen.</p> <p>$s = v \cdot t$ ist die gesuchte Umstellung der Formel nach s.</p>

3.Fall	
<ul style="list-style-type: none"> • Gegeben sind v und s • Gesucht ist t • In diesem Fall muss die Formel $v = \frac{s}{t}$ nach t umgestellt werden 	
$v = \frac{s}{t} \quad \cdot t$ $v \cdot t = \frac{s}{t} \cdot t \quad \text{ rechts } t \text{ kürzen}$ $v \cdot t = s \quad : v$ $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \quad \text{ links } v \text{ kürzen}$ $t = \frac{s}{v}$	<p>t steht im Nenner. Um nach t aufzulösen, bringen wir t in den Zähler. Da auf der rechten Seite $: t$ steht, muss die Umkehroperation auf die Gleichung angewandt werden, d.h. wir multiplizieren beide Seiten zunächst mit t.</p> <p>Anschließend können wir auf der rechten Seite t kürzen.</p> <p>Nun haben wir erreicht, dass t im Zähler steht. Um nun t zu isolieren, muss v von der linken Seite entfernt werden. Da auf der linken Seite $v \cdot$ steht, muss die Umkehroperation auf die Gleichung angewandt werden, d.h. wir dividieren beide Seiten zunächst durch v.</p> <p>Anschließend können wir auf der linken Seite v kürzen.</p> <p>$t = \frac{s}{v}$ ist die gesuchte Umstellung der Formel nach t.</p>

2.4 Lösen von einfachen Rechenaufgaben

Beim Lösen von einfachen Rechenaufgaben empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

<p>„Ein Autofahrer fährt 504 km weit mit der Durchschnittsgeschwindigkeit 90 km/h. Er macht zusätzlich insgesamt 15 min Pause. Berechne, wie lange er unterwegs ist.“</p>	<p>1. Lies die Aufgabe durch</p>
<p><u>Gegeben:</u> Weg $s = 504 \text{ km}$ Geschwindigkeit $v = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ Pause: $t_1 = 15 \text{ min} = \frac{1}{4} \text{ h} = 0,25 \text{ h}$ <u>Gesucht:</u> Gesamtfahrzeit: t_{ges}</p>	<p>2. Schreibe zuerst alle Angaben mit Einheiten heraus. Strukturiere hierbei durch die Überschriften „Gegeben“ und „Gesucht“. Verwende dabei die zugehörigen Symbole. Forme die Einheiten passend um. Schreibe eventuell ein erklärendes Wort dazu.</p>
<p>Berechnung der reinen Fahrzeit t_2:</p>	<p>3. Verwende kleine Überschriften, die erläutern, was du gerade tust.</p>
$v \cdot t = \frac{s}{t} \cdot t \quad \text{ rechts } t \text{ kürzen}$ $v \cdot t = s \quad : v$ $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \quad \text{ links } v \text{ kürzen}$ $t = \frac{s}{v}$ $t_2 = \frac{s}{v} = \frac{504 \text{ km}}{90 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 5,6 \text{ h}$ <p>Gesamtdauer: $t_{\text{ges}} = t_1 + t_2 = 0,25 \text{ h} + 5,6 \text{ h} = 5,85 \text{ h}$ $= 5 \text{ h} + 0,85 \text{ h}$ $= 5 \text{ h} + 0,85 \cdot 60 \text{ min} = 5 \text{ h} + 51 \text{ min}$</p>	<p>4. Löse die Aufgabe nach folgender Strategie:</p> <p>a) Schreibe die Grundgleichung auf.</p> <p>b) Forme nach der gesuchten Größe um.</p> <p>c) Setze anschließend alle Zahlenwerte samt Einheiten ein und berechne das Ergebnis.</p>
<p>Der Fahrer war 5 h 51 min unterwegs.</p>	<p>5. Formuliere einen Antwortsatz</p>

2.5 Funktionale Zusammenhänge und Proportionalitäten erkennen

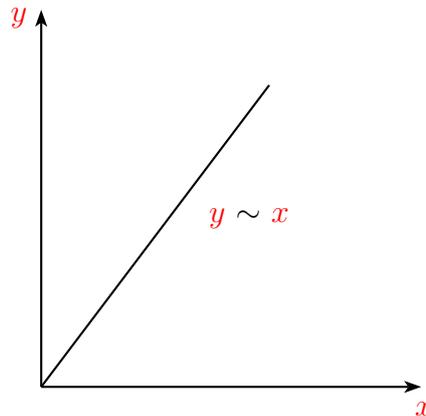
Mithilfe einer Wertetabelle oder eines Schaubilds lassen sich oft Vermutungen über den **mathematischen Zusammenhang** zweier Größen x und y gewinnen.

Meist sind Aussagen folgender Form einfach abzulesen:

„Je größer x wird, desto größer wird y .“ „Je größer x wird, desto kleiner wird y .“

In der Physik sind oftmals Proportionalitäten zu beobachten. Zwei Größen x und y heißen zueinander **proportional**, wenn die folgenden äquivalenten Aussagen erfüllt sind:

- Wenn sich der x -Wert verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht, ..., dann verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht, ... sich der y -Wert ebenfalls.
- $\frac{y}{x}$ ist konstant.
- Es gibt eine Proportionalitätskonstante k , so dass $y = k \cdot x$ gilt.
- Der Graph im x - y -Diagramm ist eine Ursprungsgerade. Die Proportionalitätskonstante k ist die Steigung der Geraden.



Das Zeichen „ \sim “ ist eine Abkürzung für das Wort *proportional*: Man schreibt also kurz $y \sim x$.

2.5.1 Proportionalitätsvermutung anhand eines Schaubildes

Ist ein Schaubild näherungsweise **eine Ursprungsgerade**, dann kann man vermuten, dass x proportional zu y ist. Ist das Schaubild durch eine Messung entstanden, lassen sich gewisse Abweichungen durch Messfehler nicht vermeiden. Sind die Abweichungen zu einer Ursprungsgeraden gering, dann kann man ohne weitere Überprüfung von einer Proportionalität ausgehen. Ist das Schaubild eine Gerade, die nicht durch den Ursprung geht, dann liegt **keine** Proportionalität vor!

2.5.2 Proportionalitätsvermutung und Überprüfung anhand einer Wertetabelle

Eine Proportionalität lässt sich meist einfach erkennen, wenn man „geschickte“ Wertepaare anschaut. Vergleicht man zum Beispiel einen x -Wert mit dem **doppelten, dreifachen, vierfachen, ..., x -Wert** und schaut, ob sich die zugehörigen **y -Werte** näherungsweise ebenfalls **verdoppeln, verdreifachen, vervierfachen, ...**, dann kann man eine Proportionalität vermuten.

Bemerkung: Bei allen Proportionalitäten gilt: $x = 0$ genau dann, wenn $y = 0$.

Tipp: Plant man eine Messung, ist es vorteilhaft die x -Werte so zu wählen, dass man den doppelten, dreifachen, ... x -Wert auch in die Messung mit aufnimmt!

x	Zeit t in s	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
y	Weg s in m	0,0	3,3	6,5	9,7	13,2	16,6

Vergleicht man die Wege bei 1, 2, 3, 4, und 5 Sekunden, so erkennt man, dass sich der Weg ungefähr **verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht bzw. verfünffacht** hat. Es liegt also nahe, $t \sim s$ zu vermuten. Nachdem eine Vermutung aufgestellt wurde, überprüft man diese nun mithilfe von Tabelle 2.2 (siehe unten) indem man für jedes Wertepaar (x, y) den Quotient $\frac{x}{y}$ berechnet und überprüft, ob alle Rechnungen ungefähr den gleichen Wert ergeben. Kleinere Ungenauigkeiten lassen sich meist durch Messungenauigkeiten erklären. Treten größere Abweichungen auf, dann muss die Vermutung verworfen werden.

x	Zeit t in s	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
y	Weg s in m	0,0	3,3	6,5	9,7	13,2	16,6
Ist $\frac{x}{y}$ konstant?	$\frac{s}{t}$ in $\frac{m}{s}$	-	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3

Im Rahmen der Messgenauigkeit kann man die Vermutung bestätigen. In diesem Fall hat die Proportionalitätskonstante die Bedeutung der Geschwindigkeit, d.h., der Läufer bewegt sich während der Messzeit mit der praktisch konstanten Geschwindigkeit $v = 3,3 \frac{m}{s}$.

2.6 Ausgleichsgerade

Beispiel:

Ein Ende einer Stahlfeder wird an einem Stativ befestigt. An das andere Ende werden nacheinander Körper mit unterschiedlichen Massen gehängt und die Verlängerung der Feder dabei gemessen. Es ergeben sich folgende Messwerte:

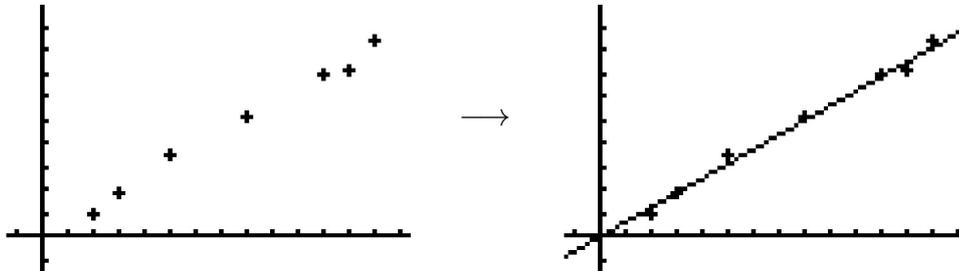
x Masse in g	0	10	15	25	40	55	60	65
y Verlängerung in cm	0	1,9	3,7	6,9	10,1	13,7	14,3	16,8

Trägt man die Messwerte in ein Koordinatensystem ein, dann liegen die Punkte auf den ersten Blick näherungsweise auf einer Geraden. Nun kann man nach Augenmaß eine Gerade so durch die Punkte legen, dass die Summe der Abstände von den Punkten zu der Geraden möglichst klein ist. Diese Gerade nennt man Ausgleichsgerade. Eine solche Gerade darf man dann zeichnen, wenn man

- eine gleichmäßig steigende oder fallende Tendenz der Punkte erkennt,
- einen linearen Zusammenhang $y = m \cdot x + b$ vermutet
- und die Abweichungen der Punkte von der Geraden durch Messungenauigkeiten erklärt werden können.

Die rechnerische Bestimmung der Gleichung einer Ausgleichsgerade heißt *Lineare Regression*. Der GTR und der WTR können beide eine solche Regression durchführen, der GTR diese dann auch im Diagramm darstellen.

(Mathematischer Hintergrund: Eine *Regression* berechnet eine sogenannte Ausgleichskurve (Gerade, Parabel, Exponentialfunktion, ...) so, dass die Summe der y -Abweichungsquadrate von Messwerten zu Kurvenpunkten minimal ist.)



Bestimmung einer Ausgleichsgerade mit dem GTR

1. Gib die Werte aus der Wertetabelle in zwei Listen ein.
2. Rufe dazu den Listeneditor mit [STAT]{EDIT} auf.
3. Gib die Werte für die Masse in g nacheinander in die Liste L1 ein. Jede Eingabe schließt du mit [ENTER] ab.

L1	L2	L3	2
0	0	-----	
10	1.9		
15	3.7		
25	6.9		
40	10.1		
55	13.7		
60	14.3		

L2(1)=0

4. Gib anschließend die Werte für die Verlängerung der Feder in cm in die Liste L2 ein.

5. Um dir einen Überblick zu verschaffen, stellst du nun die Daten grafisch dar.
6. Dazu werden im STAT-PLOT-Menü die Eigenschaften der grafischen Darstellung festgelegt. Wähle mit [2ND][STAT PLOT]{1: Plot 1} das erste von insgesamt drei möglichen Diagrammen aus.

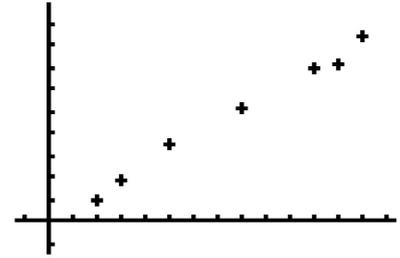
```

Plot1 Plot2 Plot3
Off Off
Type: [ ] [ ] [ ]
      [ ] [ ] [ ]
Xlist:L1
Ylist:L2
Mark: [ ] [ ] [ ]

```

7. Zunächst ist das Diagramm noch ausgeschaltet. Das erkennst du daran, dass Off dunkel unterlegt ist. Der Cursor blinkt auf On. Drücke nun einmal [ENTER], um On einzuschalten und um das Diagramm zu aktivieren.
8. Bewege anschließend den Cursor auf den ersten Diagrammtyp und bestätige deine Auswahl mit [ENTER].
9. Die Masse soll auf der x -Achse, die Verlängerung auf der y -Achse abgetragen werden. Masse und Verlängerung sind in den Listen L1 und L2 gespeichert. Die Voreinstellung kannst du übernehmen mit: Xlist: L1 und Ylist: L2. Falls sich die x - und y -Werte einmal in anderen Listen befinden, dann kannst du sie hier anwählen. Mit Mark legst du die Markierungsart der einzelnen Datenpunkte fest.

10. Mit dem Befehl [ZOOM]{9: ZoomStat} werden die Daten grafisch dargestellt, und zwar so, dass im Anzeigefenster alle Datenpunkte erfasst sind. Von der Lage der Punkte in unserem Beispiel kann man etwa einen linearen Verlauf vermuten.
11. Mit [STAT]{CALC}{4: LinReg(ax+b)}, [ENTER] wird der Befehl zur Berechnung der Ausgleichsgeraden (*Lineare Regression*) aufgerufen.



12. XList: und YList: übernimmst du einfach mit [ENTER]. Die berechnete Gleichung der Ausgleichsgeraden kannst du, wenn du willst, sofort unter [STORE RegEQ] in der Funktionsliste Y= unter Y1 abspeichern lassen.
13. Dazu tippst du folgendes ein:
 [VARS], [Y-VARS], [ENTER],
 [1: FUNCTION], [1:Y1], [ENTER].
 Die Einstellung erkennst du am blinkenden Schachbrettmuster.

```

VARS Y-VARS
1:Function...
2:Parametric...
3:Polar...
4:On/Off...

FUNCTION
1:Y1
2:Y2
3:Y3
4:Y4
5:Y5
6:Y6
7:Y7

LinReg(ax+b)
Xlist:L1
Ylist:L2
FreqList:
Store RegEQ:Y1
Calculate
    
```

14. Die Bestätigung mit [CALCULATE],[ENTER] liefert dir jetzt die benötigten Daten: Die Steigung beträgt gerundet $a = 0,25$ und der y -Achsenabschnitt beträgt ebenfalls gerundet $b = -0,74$. Die Gleichung der Regressionsgeraden befindet sich auch im Y=-Editor und ist dort unter der Variablen Y1 gespeichert, allerdings mit vielen Stellen hinter dem Komma (siehe Abb.), sodass es sehr unübersichtlich ist. Überflüssige Stellen kannst du löschen. Du kannst dir das automatische Abspeichern aber auch sparen, wenn du die Funktion direkt in Y1 mit den gerundeten Werten aus der Berechnung der linearen Regression eingibst.

```

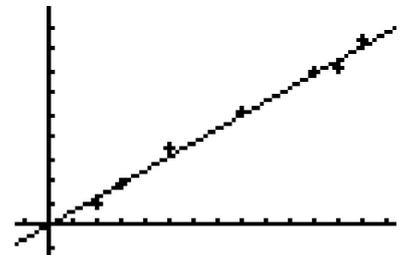
LinReg
u=ax+b
a=.2518367347
b=-.0744897959
    
```

15. Die Qualität der Regressionsgeraden (Abweichung von den Punkten) kannst du nun betrachten, indem sowohl die Datenpunkte als auch die Funktion in Y1, zeichnen lässt. Rufe dazu mit [GRAPH] das Diagramm auf.

```

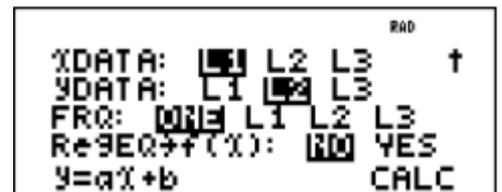
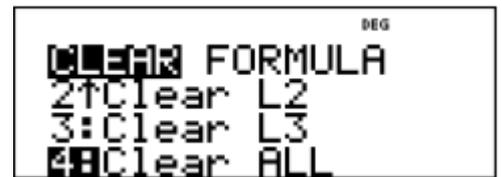
STAT Plot2 Plot3
\Y1 0.2518367346
\Y2 =
\Y3 =
\Y4 =
\Y5 =
\Y6 =
\Y7 =
    
```

16. Mithilfe der Gleichung der Regressionsgeraden kannst du jetzt aus der Belastung der Feder deren Verlängerung näherungsweise vorhersagen.



Bestimmung einer Ausgleichsgerade mit dem WTR

- Gib die Werte aus der Wertetabelle in zwei Listen ein.
- Rufe dazu den Listeneditor auf. Zur Sicherheit sollte man vorhandene Daten löschen: **data** zweimal drücken, Menüpunkt 4:Clear ALL auswählen.
- Gib die Werte für die Masse in g nacheinander in die Liste L1 ein. Nach jeder Eingabe drückst du die \odot -Taste.
- Dann drückst du die \blacktriangleright -Taste und gibst anschließend entsprechend die Werte für die Verlängerung der Feder in cm in die Liste L2 ein.
- Mit **2nd** **[stat-reg/distr]** und der Eingabe von 4:LinReg $ax+b$ wird der Befehl zur Berechnung der Ausgleichsgeraden aufgerufen.
- Mit der \odot wird CALC ausgewählt und mit **enter** die Berechnung durchgeführt. Wählt man für den Menüpunkt $\text{RegEQ} \rightarrow f(x)$: YES aus, wird die berechnete Funktionsvorschrift gespeichert und man kann Funktionswerte berechnen bzw. in der Wertetabelle der Funktion nachsehen. Die Steigung der Geraden findet man als Wert a , den y -Achsenabschnitt als Wert b .
- Mithilfe der Gleichung der Regressionsgeraden kannst du jetzt aus der Belastung der Feder (in g) deren Verlängerung (in cm) näherungsweise vorhersagen. Dazu ruft man mit **table** das Tabellenmenü auf und kann 1:f(und Eingabe des entsprechenden x -Werts (Masse) die entsprechende Verlängerung direkt berechnen.



3 Physik 3.Jahr

3.1 Physikalische Größen

Grundlagen:

- Bedeutung der Vorsilben Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega: siehe Abschnitt 1.2
- Beispiele für die Verwendung von Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega: siehe Abschnitt 1.2

Beispiele physikalischer Größen mit Formelzeichen (Symbolen) und Einheiten				
physikalische Größe	Symbol	Beispiele für Maßeinheiten (kurz: Einheiten)	SI-Einheit	Wert einer physikalischen Größe
Zeit	t	s, min, h, d, a	s	$t = 10 \text{ s}$
Ortsvektor	\vec{s}	mm, cm, dm, m, km	m	$s = 2 \text{ m}$
Geschwindigkeit	\vec{v}	$\frac{\text{cm}}{\text{s}}, \frac{\text{m}}{\text{s}}, \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Beschleunigung	\vec{a}	$\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}, \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \frac{\text{km}}{\text{h}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Fläche	A	mm ² , cm ² , dm ² , km ²	m ²	$A = 2,4 \text{ m}^2$
Volumen	V	mm ³ , cm ³ , dm ³ , m ³ , km ³	m ³	$V = 1,7 \text{ m}^3$
Masse	m	g, kg, t	kg	$m = 85 \text{ kg}$
Energie	\mathcal{E}, W	J (Joule), kJ, MJ	J	$W = 1500 \text{ J}$
Leistung (Energiestromstärke)	P	W (Watt), kW, MW, GW	W	$P = 60 \text{ W}$
Druck	p	Pa (Pascal) , bar (1 bar = 100 000 Pa)	Pa	$p = 101\,300 \text{ Pa}$
elektrische Ladungsmenge	Q	C (Coulomb)	C	$Q = 0,001 \text{ C}$
elektrische Stromstärke (Ladungsstromstärke)	I	A (Ampere) , $\frac{\text{C}}{\text{s}}$	A	$I = 0,02 \text{ A}$
elektrisches Potenzial	φ	V (Volt)	V	$\varphi = 0 \text{ V}$
elektrische Spannung	U	V (Volt)	V	$U = 12 \text{ V}$
elektrischer Widerstand	R	Ω (Ohm)	Ω	$R = 47 \Omega$
Periodendauer	T	s, min, h, d, a	s	$T = 0,0023 \text{ s}$
Frequenz	f	Hz (Hertz) $\frac{1}{\text{s}}$		$f = 440 \text{ Hz}$
Amplitude	\hat{s}	m (Meter); mm,...		$\hat{s} = 0,05 \text{ m}$
Impuls	\vec{p}	Hy (Huygens) = $\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$p = 1500 \text{ Hy}$
Kraft (Impulsstromstärke)	\vec{F}	N (Newton) = $\frac{\text{Hy}}{\text{s}} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	N	$F = 7,5 \text{ N}$
Temperatur	T	K (Kelvin)	K	$T = 300 \text{ K}$
Entropie	S	Ct (Carnot) = $\frac{\text{J}}{\text{K}}$	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$	$S = 3900 \text{ Ct}$
Entropiestromstärke	I_S	$\frac{\text{Ct}}{\text{s}}$ (Carnot pro Sekunde)	$\frac{\text{J}}{\text{Ks}}$	$I_S = 25 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$

3.2 Bedeutung der Vorsilben Piko, Nano, Mikro, Milli, Kilo, Mega, Giga und Tera

Dies sind Vorsätze für Einheiten und geben einen Faktor an:

- Piko bedeutet 10^{-12} . Die Abkürzung für Piko ist: p. Beispiel: $1\text{ps} = 10^{-12}\text{s}$
- Nano bedeutet 10^{-9} . Die Abkürzung für Nano ist: n. Beispiel: $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$
- Mikro bedeutet 10^{-6} . Die Abkürzung für Mikro ist: μ . Beispiel: $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$
- Milli bedeutet 10^{-3} . Die Abkürzung für Milli ist: m. Beispiel: $1\text{mg} = 10^{-3}\text{g}$
- Kilo bedeutet 10^3 . Die Abkürzung für Kilo ist: k. Beispiel: $1\text{kg} = 10^3\text{g}$
- Mega bedeutet 10^6 . Die Abkürzung für Mega ist: M. Beispiel: $1\text{MW} = 10^6\text{W}$
- Giga bedeutet 10^9 . Die Abkürzung für Giga ist: G. Beispiel: $1\text{GJ} = 10^9\text{J}$
- Tera bedeutet 10^{12} . Die Abkürzung für Tera ist: T. Beispiel: $1\text{TW} = 10^{12}\text{W}$

Bemerkung: Die Abkürzungen für die verkleinernden Vorsilben sind generell Kleinbuchstaben, für die vergrößernden Großbuchstaben (bis auf Kilo, aus historischen Gründen).

3.3 Kohärente SI-Einheiten

Für jede physikalische Größe gibt es eine sogenannte kohärente SI-Einheit (SI frz. *Système international d'unités*). Diese zeichnet sich durch folgende nützliche Eigenschaft aus: Setzt man in eine Formel alle Werte mit kohärenten SI-Einheiten ein, dann ist das Ergebnis ebenfalls wieder eine kohärente SI-Einheit.

Setzt man zum Beispiel in die Formel $P = U \cdot I$ die Spannung in Volt und die Stromstärke in Ampere ein, dann erhält man als Ergebnis die Leistung in Watt. Bei kohärenten SI-Einheiten gilt daher auch die Einheitengleichung: $1\text{W} = 1\text{V} \cdot 1\text{A}$.

Achtung! Verwendet man einen *Vorsatz* vor einer kohärenten Einheit, z.B. mV , dann ist dies *keine kohärente* Einheit mehr!

3.4 Eckige Klammern und kohärente Einheiten

Möchte man die kohärente Einheit einer physikalischen Größe angeben, so kann man zur Abkürzung eine eckige Klammer verwenden.

Beispiel: Ausführlich: Die kohärente Einheit der Masse m ist 1kg (ein Kilogramm)

Kurz: $[m] = 1\text{kg}$

3.5 Änderung einer physikalischen Größe (Differenz)

Werden Vorgänge betrachtet, ändert sich oft der Wert einer physikalischen Größe. Man kann dann den Endwert mit dem Anfangswert vergleichen. Als Abkürzung für die Differenz des End- und Anfangswertes wird häufig der griechische Buchstabe Δ (großes Delta) verwendet.

Beispiel: $\Delta s = s_2 - s_1 = s_{\text{nachher}} - s_{\text{vorher}}$

3.6 Geltende Ziffern

Die Messung einer Größe kann nie absolut exakt erfolgen, da jedes Messgerät einerseits eine gewisse Genauigkeit hat und andererseits die Zuordnung einer Messung zu einem Messwert eventuell nur ungenau erfolgen kann. So kann die Messung einer Strecke mit einem Lineal nur so genau sein, wie es die Einteilung des Lineals erlaubt (zumeist also bis auf Millimeter genau) und zusätzlich kann es sein, dass der Endpunkt einer Strecke (beispielsweise der Abstand zweier Lichtpunkte) nicht so einfach einem Millimeterstrich zugeordnet werden kann (weil hier der Mittelpunkt zu verwenden wäre und dieser bei ausgedehnten „Lichtflecken“ nicht so genau zu bestimmen ist).

Um deutlich zu machen, wie genau die Messung möglich war, wird die Maßzahl unterschiedlich angegeben.

Die Angabe 2,30 m hat 3 geltende Ziffern (2; 3; 0). Das heißt, dass man die Länge auf ganze Zentimeter genau gemessen hat. Die tatsächliche Länge liegt also zwischen 2,295 m und 2,305 m. Das bedeutet eine mögliche Abweichung von bis zu einem Zentimeter.

Die Angabe 2,3 m bedeutet abweichend davon, dass nur auf 10 cm genau gemessen wurde, die Länge also zwischen 2,25 m und 2,35 m liegen kann. Damit steigt die Ungenauigkeit von 1 cm auf 10 cm.

Nullen am Anfang der Zahl (also auch die nach dem Komma, wenn auch vor dem Komma nur eine Null steht (siehe Bsp. 2 in km)) zählen dabei nicht zu den geltenden Ziffern.

- 1 geltende Ziffer: $2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- 2 geltende Ziffern: $1,1 \text{ m} = 0,0011 \text{ km}$
- 3 geltende Ziffern: $500 \text{ g} = 0,500 \text{ kg}$ (und nicht 0,5 kg)

Rechnungen (insbesondere mit dem Taschenrechner) liefern zumeist Werte, die weit mehr Ziffern aufweisen. Diese alle anzugeben wäre nicht nur unsinnig, sondern sogar physikalisch falsch. Will man beispielsweise eine Geschwindigkeit angeben und hat dazu die Strecke 2,00 m und die Zeit 7,0 s bestimmt, so wäre die Angabe $v = \frac{s}{t} = \frac{2,00 \text{ m}}{7,0 \text{ s}} = 0,2857142857 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ falsch, weil sie vorspiegelt, dass sehr genau gemessen wurde. Tatsächlich könnte die Strecke ja auch 2,04 m lang gewesen sein, da ja nur auf Dezimeter genau gemessen wurde, und die Zeitdauer könnte auch 6,5 s gewesen sein. Eine Rechnung mit diesen möglicherweise richtigen, weil genaueren Werten, würde ein deutlich anderen Zahlenwert liefern (0,3138461538). Deswegen gibt es folgende Regel für die Angabe von Rechenergebnissen:

Das Ergebnis einer Rechnung hat genau so viele geltende Ziffern, wie es die ungenaueste Messung, d. h., die mit der geringsten Anzahl geltender Ziffern, vorgibt. Für Zwischenergebnisse werden mindestens zwei geltende Ziffern mehr verwendet oder es wird mit der Taschenrechnerausgabe direkt weitergearbeitet. Brüche sind hierbei auch sehr nützlich.

Auf obiges Beispiel angewendet heißt das:

$$s = \underbrace{2,00}_{3\text{g.Z.}} \text{ m}; t = \underbrace{7,0}_{2\text{g.Z.}} \text{ s} \implies v = \frac{s}{t} = \frac{2,00 \text{ m}}{7,0 \text{ s}} (= 0,2857142857 \frac{\text{m}}{\text{s}}) = 0, \underbrace{29}_{2\text{g.Z.}} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.7 Arbeiten mit Schaubildern

Grundlagen: (siehe Abschnitt 1.3)

- Was sind Schaubilder?
- Werte aus Schaubildern ablesen
- Schaubilder mithilfe einer gegebenen Wertetabelle zeichnen
- Schaubilder beschreiben

3.7.1 Schaubilder anhand einer gegebenen Formel zeichnen

1. Zunächst muss geklärt werden, in welchem Bereich das Schaubild gezeichnet werden soll. Dies ergibt sich im Allgemeinen aus der Aufgabenstellung. Ansonsten kannst du den Bereich frei wählen.
2. Anschließend muss der Zeichenmaßstab festgelegt werden (siehe Abschnitt 1.3.3).
3. Beschreibt die Formel einen proportionalen Zusammenhang zwischen den beiden Größen, dann ist das Schaubild eine Ursprungsgerade. Z.B. $s = v \cdot t$ ($y = m \cdot x$). In Mathematik hast du gelernt, dass eine Gerade durch zwei Punkte eindeutig festgelegt ist. Da die Ursprungsgerade durch den Ursprung geht, brauchst du nur noch das Wertepaar eines weiteren Punktes mithilfe der Formel zu bestimmen, oder du zeichnest ausgehend vom Ursprung ein Steigungsdreieck ein. Die Steigung ist der Proportionalitätsfaktor.

Beispiel: Bei $s = v \cdot t$ ist v der Proportionalitätsfaktor.

Beispiel: Bei $y = m \cdot x$ ist m der Proportionalitätsfaktor.

4. Beschreibt die Formel einen linearen Zusammenhang zwischen den beiden Größen, dann ist das Schaubild eine Gerade. Da eine Gerade durch zwei Punkte eindeutig festgelegt ist, brauchst du nur zwei Wertepaare mithilfe der Formel zu bestimmen und eine Gerade durch die zwei zugehörigen Punkte zu zeichnen.

Beispiel: $s = v \cdot t + s_0$

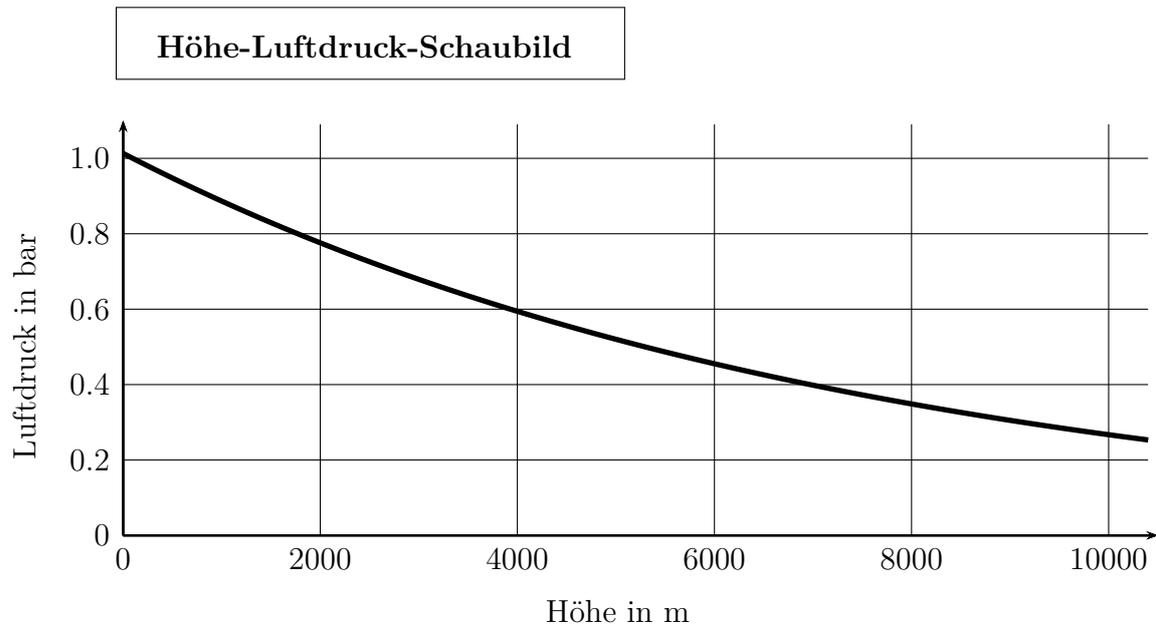
Beispiel: $y = m \cdot x + c$

5. Beschreibt die Formel keinen linearen (oder proportionalen) Zusammenhang, muss man mithilfe der Formel eine Wertetabelle erstellen und anschließend die Werte in das Koordinatenkreuz übertragen (siehe Abschnitt 1.3.3).

3.7.2 Schaubilder erklären

Hier muss der Verlauf des Schaubildes erklärt werden, d.h., der im Schaubild dargestellte Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen muss mithilfe bereits bekannter Sachverhalte, Modelle oder Gesetzmäßigkeiten nachvollziehbar und verständlich gemacht werden.

Beispiel:



„Luft wird wie jeder andere Körper von der Erde angezogen (Erddanziehungskraft). Daher übt die Luft, die sich über einem Beobachter befindet, einen Druck auf den Beobachter aus. Je weiter der Beobachter sich oberhalb des Meeresspiegels befindet, desto weniger Luft befindet sich über ihm. Folglich nimmt der Luftdruck mit der Höhe ab.“

3.7.3 Schaubilder interpretieren

Wie bei der Erklärung eines Schaubildes wird bei der Interpretation der Verlauf des Schaubildes nachvollziehbar und verständlich gemacht. Allerdings setzt man bei der Interpretation nicht voraus, dass eine Erklärung mit bereits bekannten Sachverhalten, Modellen oder Gesetzmäßigkeiten möglich ist. Hier können auch unterschiedliche Erklärungsansätze auf ihre Stichhaltigkeit untersucht und gegeneinander abgewogen werden. Es ist auch möglich, dass hier neue Hypothesen (Vermutungen) zur Erklärung herangezogen werden und deren wahrscheinliche Gültigkeit verständlich gemacht wird.

3.8 Funktionale Zusammenhänge und Proportionalitäten erkennen

Grundlagen: Funktionale Zusammenhänge und Proportionalitäten erkennen (siehe Abschnitt 2.5) Mithilfe einer Wertetabelle oder eines Schaubilds lassen sich oft Vermutungen über den *mathematischen Zusammenhang* zwischen zwei physikalischen Größen x und y gewinnen. Folgende einfache Zusammenhänge kommen häufig vor:

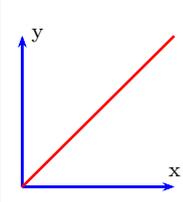
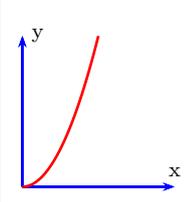
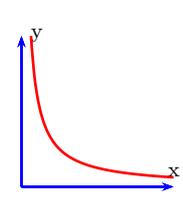
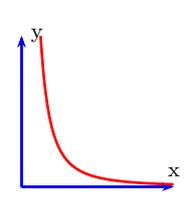
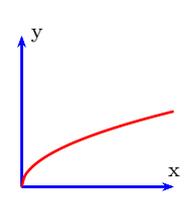
Schaubild					
Vermutliche Proportionalität	$y \sim x$	$y \sim x^2$	$y \sim \frac{1}{x}$	$y \sim \frac{1}{x^2}$	$y \sim \sqrt{x}$

Tabelle 3.1

Zwei Größen x und y heißen zueinander proportional, wenn es eine Konstante k gibt, sodass $y = k \cdot x$. Diese Konstante wird auch *Proportionalitätskonstante* oder *Proportionalitätsfaktor* genannt. Die Gleichung ist äquivalent zur Gleichung:

$$\frac{y}{x} = k \quad (\text{ergibt sich durch Division von } y = k \cdot x \text{ durch } x),$$

d. h., $\frac{y}{x}$ ist genau dann eine Konstante, wenn $y \sim x$.

Proportionalität	$y \sim x$	$y \sim x^2$	$y \sim \frac{1}{x}$	$y \sim \frac{1}{x^2}$	$y \sim \sqrt{x}$
Bedeutung	Es gibt eine Konstante k , so dass $y = k \cdot x$	Es gibt eine Konstante k , so dass $y = k \cdot x^2$	Es gibt eine Konstante k , so dass $y = k \cdot \frac{1}{x}$	Es gibt eine Konstante k , so dass $y = k \cdot \frac{1}{x^2}$	Es gibt eine Konstante k , so dass $y = k \cdot \sqrt{x}$
Zur Überprüfung geeignet	$\frac{y}{x}$ ist konstant	$\frac{y}{x^2}$ ist konstant	$y \cdot x$ ist konstant	$y \cdot x^2$ ist konstant	$\frac{y}{\sqrt{x}}$ ist konstant

Tabelle 3.2

3.9 Proportionalitätsvermutung und Überprüfung

Aus dem Verlauf eines Schaubilds lassen sich (wie in Tabelle 3.1 dargestellt) häufig Vermutungen über eine Proportionalität gewinnen.

An einer Wertetabelle lässt sich eine Proportionalität oft schwieriger ablesen. Meist sind Aussagen folgender Form einfach abzulesen: „Je größer x wird, desto größer/kleiner wird y .“

Möchte man eine genauere Abhängigkeit erkennen, sollte man geeignete Wertepaare betrachten. Vergleicht man zum Beispiel einen x -Wert mit dem *doppelten* x -Wert und schaut, wie sich die zugehörigen y -Werte verhalten, so kommt man meist schnell auf eine geeignete Vermutung:

- Verdoppelt sich der y -Wert näherungsweise, dann gilt vermutlich: $y \sim x$.
- Vervierfacht sich der y -Wert näherungsweise, dann gilt vermutlich: $y \sim x^2$.
- Halbiert sich der y -Wert näherungsweise, dann gilt vermutlich: $y \sim \frac{1}{x}$.

Bei allen Proportionalitäten gilt: $x = 0$ genau dann, wenn $y = 0$.

Tipp: Plant man eine Messung, ist es vorteilhaft die x -Werte so zu wählen, dass man den doppelten, dreifachen, ... x -Wert auch in die Messung mit aufnimmt! Dies ist allerdings nicht immer möglich.

Beispiel: Widerstand eines Konstantendrahtes der Länge 10 m							
x	Querschnittsfläche A in mm^2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
y	elektrischer Widerstand R in Ω	50	24	17	12	10	9

Tabelle 3.3

Vergleicht man den Widerstand bei $0,1\text{mm}^2$ und $0,2\text{mm}^2$ bzw. bei $0,2\text{mm}^2$ und $0,4\text{mm}^2$, dann erkennt man, dass sie sich jeweils ungefähr halbieren. Es liegt also nahe, $R \sim \frac{1}{A}$ zu vermuten.

Nachdem eine Vermutung aufgestellt wurde, überprüft man diese nun mithilfe von Tabelle 3.3, indem man für jedes Wertepaar (x,y) die in Tabelle 3.2, Zeile 3 angegebene Formel berechnet und überprüft, ob alle Rechnungen ungefähr den gleichen Wert ergeben. Kleinere Ungenauigkeiten lassen sich meist durch Messungenauigkeiten erklären. Treten größere Abweichungen auf, dann muss man die Vermutung verwerfen.

Beispiel: Überprüfung der Vermutung $R \sim \frac{1}{A}$							
x	Querschnittsfläche A in mm^2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
y	elektrischer Widerstand R in Ω	50	24	17	12	10	9
Überprüfung: ist $y \cdot x$ konstant?	$R \cdot A$ in $\Omega \cdot \text{mm}^2$	5,0	4,8	5,1	4,8	5,0	5,4

Tabelle 3.4

Im Rahmen der Messgenauigkeit kann man die Vermutung bestätigen.

Ist keine Wertetabelle, sondern ein Schaubild gegeben, so geht man bei der Überprüfung der Proportionalitätsvermutung folgendermaßen vor:

- Ist das Schaubild (näherungsweise) eine Ursprungsgerade, dann kann man von $y \sim x$ ausgehen. Es braucht keine weitere Überprüfung durchgeführt werden.
- Ist das Schaubild eine Gerade, die aber nicht durch den Ursprung geht, liegt keine Proportionalität vor. Es gilt dann $y = k \cdot x + c$.
- Ist das Schaubild keine Gerade, dann liest man aus dem Schaubild geeignete $(x|y)$ -Wertepaare ab und erstellt daraus eine Wertetabelle. Anschließend benutzt man diese Wertetabelle, um die Proportionalitätsvermutung zu überprüfen.

3.10 Proportionalitäten an einer Formel ablesen

Grundlage: siehe Abschnitt 2.2

Beispiel: Dichte ρ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Man kann an der Formel ablesen, dass für konstantes Volumen folgender Zusammenhang gilt:

$$\rho \sim m \quad (\rho \text{ ist proportional zu } m)$$

Wie erkennt man dies? Die Gleichung $\rho = \frac{m}{V}$ kann man folgendermaßen umformen:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{V} \cdot m$$

Da das Volumen V nach Voraussetzung konstant ist, folgt, dass auch $\frac{1}{V}$ konstant ist. Bezeichnen wir nun die Konstante $\frac{1}{V}$ mit k , dann erhalten wir die Gleichung:

$$\rho = k \cdot m$$

Nach Tabelle 3.3 ist dies gleichbedeutend mit $\rho \sim m$.

- Man kann an der Formel ablesen, dass für konstante Masse folgender Zusammenhang gilt:

$$\rho \sim \frac{1}{V} \quad (\rho \text{ ist proportional zu } \frac{1}{V})$$

Wie erkennt man dies? Die Gleichung $\rho = \frac{m}{V}$ kann man folgendermaßen umformen:

$$\rho = \frac{m}{V} = m \cdot \frac{1}{V}$$

Die Masse m ist nach Voraussetzung konstant. Bezeichnen wir nun die Konstante m mit k , dann erhalten wir die Gleichung:

$$\rho = k \cdot \frac{1}{V}$$

Nach Tabelle 3.3 ist dies gleichbedeutend mit $\rho \sim \frac{1}{V}$.

3.11 Unbekannte Formeln

Manchmal trifft man auf Formeln, die man noch nicht kennt, zum Beispiel: $R = \rho_W \cdot \frac{l}{A}$.
Folgende Vorgehensweise bietet sich an:

1. Recherchiere die vorkommenden physikalischen Größen und Einheiten:

R : elektrischer Widerstand, Einheit: 1Ω

ρ_W : spezifischer Widerstand, Einheit: $1\frac{\Omega\cdot\text{mm}^2}{\text{m}}$

l : Länge des Leiters, Einheit: 1m

A : Querschnittsfläche des Leiters, Einheit: 1mm^2

2. Verbalisiere die Formel mit eigenen Worten:

- Je größer der spezifische Widerstand ist, d.h., je schlechter das Material leitet, desto größer ist der elektrische Widerstand.
- Je länger der Leiter ist, desto größer ist der elektrische Widerstand.
- Je größer die Querschnittsfläche des Leiters ist, desto kleiner ist der elektrische Widerstand.

3. Nenne die Proportionalitäten:

- Werden l und A konstant gehalten, dann gilt: $R \sim \rho_W$.
- Werden ρ_W und A konstant gehalten, dann gilt: $R \sim l$.
- Werden ρ_W und l konstant gehalten, dann gilt: $R \sim \frac{1}{A}$.

3.12 Umstellen von Formeln

Grundlagen: Umstellen von Formeln (siehe 2.3)

Beispiel: $R = \rho_W \cdot \frac{l}{A}$.

- Umstellen von $R = \rho_W \cdot \frac{l}{A}$ nach ρ_W :

$$\begin{aligned} R &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} && | \cdot A \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} \cdot A && | \text{ rechts } A \text{ kürzen} \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot l && | : l \\ \frac{R \cdot A}{l} &= \frac{\rho_W \cdot l}{l} && | \text{ rechts } l \text{ kürzen} \\ \frac{R \cdot A}{l} &= \rho_W \end{aligned}$$

- Umstellen von $R = \rho_W \cdot \frac{l}{A}$ nach l :

$$\begin{aligned} R &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} && | \cdot A \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} \cdot A && | \text{ rechts } A \text{ kürzen} \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot l && | : \rho_W \\ \frac{R \cdot A}{\rho_W} &= \frac{\rho_W \cdot l}{\rho_W} && | \text{ rechts } \rho_W \text{ kürzen} \\ \frac{R \cdot A}{\rho_W} &= l \end{aligned}$$

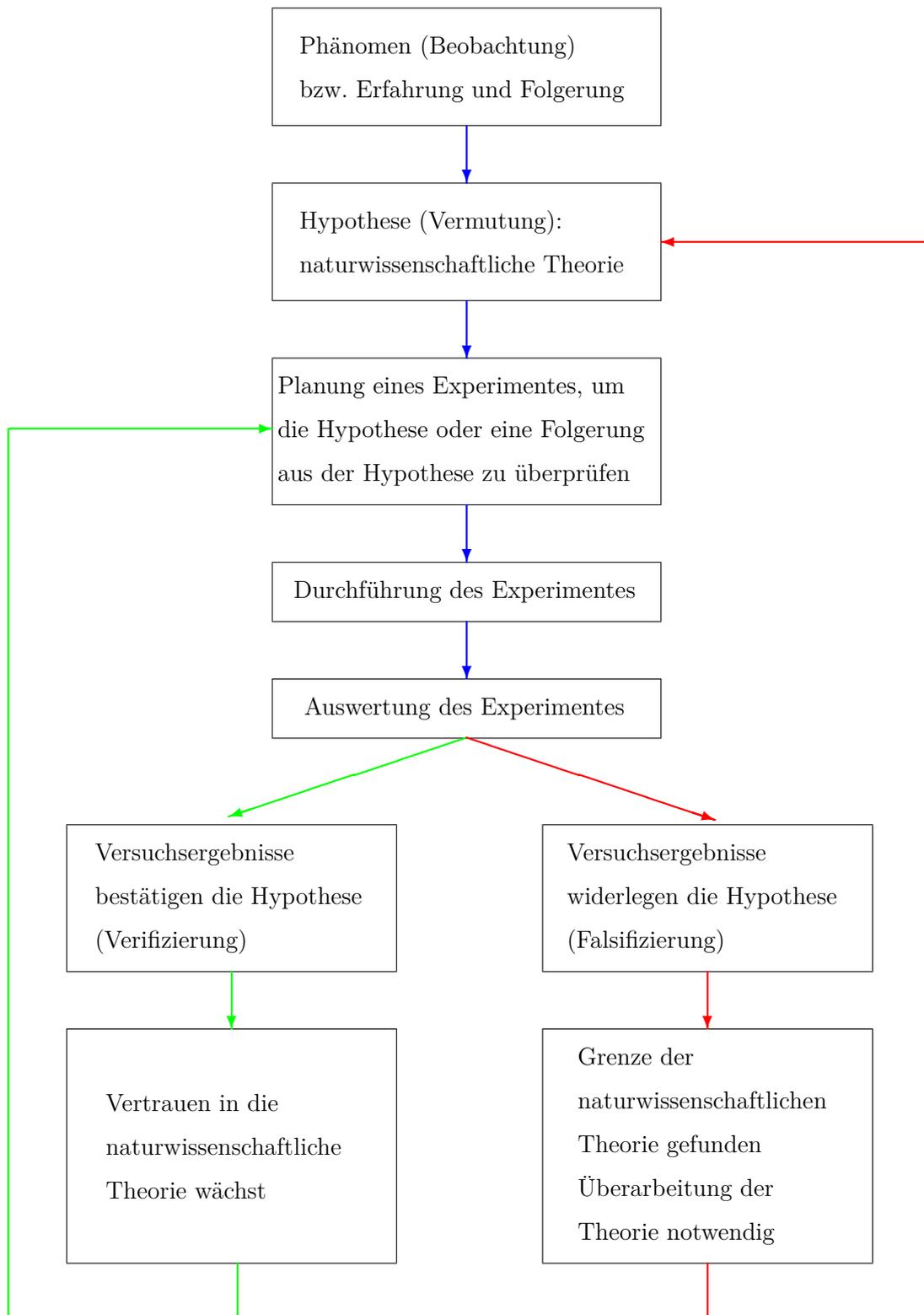
- Umstellen von $R = \rho_W \cdot \frac{l}{A}$ nach A :

$$\begin{aligned} R &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} && | \cdot A \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot \frac{l}{A} \cdot A && | \text{ rechts } A \text{ kürzen} \\ R \cdot A &= \rho_W \cdot l && | : R \\ \frac{R \cdot A}{R} &= \frac{\rho_W \cdot l}{R} && | \text{ links } R \text{ kürzen} \\ A &= \frac{\rho_W \cdot l}{R} \end{aligned}$$

3.13 Naturwissenschaftliche Arbeitsweise

3.13.1 Ablaufschema naturwissenschaftliche Arbeitsweise

In den Naturwissenschaften werden Vermutungen (Hypothesen) über Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten (naturwissenschaftliche Theorie) im Regelfall nach folgender Vorgehensweise überprüft und gegebenenfalls verbessert:



Um zu einem Phänomen geeignete Hypothesen zu finden, bietet sich oftmals folgende Vorgehensweise an:

1. *Beobachte* und *beschreibe* das Phänomen. Achte dabei auf die vorkommenden physikalischen Größen.
2. Stelle eine *Hypothese* auf, wie diese Größen voneinander abhängen (formuliere „Je-desto“-Sätze).

Im Folgenden erfährst du, wie man ein Experiment plant, durchführt und auswertet!

3.13.2 Planung eines Experimentes (allgemein)

Bei der Planung eines Experimentes kommt es darauf an, ob man eine Hypothese (Gesetzmäßigkeit) überprüfen, neu entdecken oder anwenden soll: Folgende Punkte dienen als Leitlinie:

1. Gibt es eine Hypothese, die man überprüfen soll?
2. Formuliere eine Hypothese oder Aufgabenstellung.
3. Welche physikalischen Größen spielen dabei eine Rolle? Wie kann man sie messen?
4. Wie hängen die physikalischen Größen voneinander ab? [Eventuell gibt es mehrere Abhängigkeiten.] Formuliere Hypothesen der Form

A hängt von B ab.	Je größer B, desto ... A.
A hängt von C ab.	Je größer C, desto ... A.
A hängt von D ab.	Je größer D, desto ... A.

5. Überlege dir ein Experiment, in dem jeweils eine Abhängigkeit untersucht wird und alle anderen gleich (konstant) bleiben:
 - Welche Materialien (Messgeräte, Stative, ...) brauche ich? [Geräteliste]
 - Wie sieht der Versuchsaufbau aus? [Skizze]
6. Wie werden die Messergebnisse dokumentiert? [Vorbereitung von Messwertetabellen]

3.13.3 Durchführung des Experiments

Folgende Schritte sind grundsätzlich einzuhalten:

1. Das Experiment wird nach der Skizze aufgebaut und **noch nicht gestartet**. Beim Aufbau ist auf Übersichtlichkeit
 - Sichtbarkeit der Messinstrumente
 - bedienende Elemente in den Vordergrund
 - wenige Überschneidungen von Kabeln
 - ...

und **Sicherheit** zu achten:

- Vorsicht bei Netzsteckdosen: Immer ausstecken bzw. Netzgerät ausschalten, wenn am Stromkreis gearbeitet wird.

- Standfestigkeit der Geräte
- zu vermeiden sind:
 - Beschädigung durch Stöße
 - Berührung mit Wärmequellen
 - Überlastung der Geräte infolge zu hoher Spannung bzw. Stromstärke:
Grundsätzlich immer mit dem größten Messbereich beginnen!

2. Der Aufbau muss vom Lehrer/von der Lehrerin kontrolliert werden!

3. Alle (Teil-)Versuche werden entsprechend der Planung durchgeführt, die Ergebnisse in die vorbereiteten Tabellen eingetragen.

Stellst du während der Messung fest, dass es Fehler gibt, starte die Messung neu.

3.13.4 Auswertung des Experiments

Grundsätzlich gilt: Die Auswertung muss so gestaltet sein, dass ein Unbekannter nachvollziehen kann

- worum es geht [Hypothese oder Aufgabenstellung]
- wie es gemacht wurde [Beschreibung und Skizze des Versuchs]
- welche Messergebnisse erzielt wurden [Messwertetabellen]
- welches Ergebnis gefunden wurde. [Auswertung und Fazit]

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

1. Sind zusätzliche Berechnungen notwendig, müssen diese erkennbar sein. Z. B. kann man aus s - und t -Werten den zugehörigen Geschwindigkeitswert bestimmen.
2. Die Messergebnisse und die Berechnungen müssen mit der notwendigen Genauigkeit angegeben werden. (Siehe Abschnitt 3.6)
3. Grafische Darstellungen werden in der Regel auf kariertem Papier, Millimeterpapier oder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel, Calc) angefertigt. Für die Einteilung der Achsen einen geeigneten Maßstab wählen.
4. Werden mehrere Schaubilder in ein Koordinatensystem gezeichnet, sollten sie durch Farben und Beschriftung unterschieden werden.
5. Am Ende wird ein Resultat der experimentellen Aufgabe in einem Satz formuliert, dabei wird der Bezug zur Hypothese (oder Aufgabe) hergestellt. Untersucht man die Abhängigkeit zweier Größen, beachtet man die Punkte unter Abschnitt 3.8.
6. Hat man mehrere Abhängigkeiten herausgefunden, kann man diese zusammenfassen:
gilt $a \sim b$ und $a \sim \frac{1}{c} \Rightarrow a \sim \frac{b}{c}$
7. Treten Messwerte auf, die offensichtlich fehlerbehaftet sind, werden diese markiert. In einer Fehlerbetrachtung kann man eventuelle Gründe angeben. Eventuell kann man sie als Einzelmessung wiederholen.

3.14 Aufbau eines Protokolls

Ein Protokoll könnte folgenden Aufbau haben:

Protokoll											
Klasse:	Datum:										
Name:	Mitarbeiter:										
Versuch:	„Überschrift“										
Hypothese oder Aufgabenstellung:	„Worum geht es in diesem Versuch?“ „Was soll untersucht werden?“										
Vorbetrachtungen:	Hier können Vorüberlegungen, die zum Verständnis des Versuchs notwendig und hilfreich sind, notiert werden.										
Geräte:	...										
Aufbau:	Skizze des Versuchsaufbaus										
Durchführung:	Verbale Erläuterung für den Experimentator, Formulierung von Teilversuchen										
Beobachtung bzw. Messwerte:	In Messwerttabelle oder verbal: „A in Abhängigkeit von B: Konstant bleiben C, D, ...“										
Unabhängige Größe, die variiert wird	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 5px;">B in ... (Einheit)</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A in ... (Einheit)</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> <td style="padding: 5px;">...</td> </tr> </table>	B in ... (Einheit)	A in ... (Einheit)
B in ... (Einheit)							
A in ... (Einheit)							
Abhängige Größe											
Auswertung der Ergebnisse:	Berechnungen, grafische Darstellungen, ...										
Resultat:	Formulierung im Satz, Bezug zur gestellten Aufgabe										
Fehleranalyse:	Welche Faktoren können die Messwerte in welcher Weise beeinflusst haben? Mögliche grobe Abschätzung: Wie stark können diese Faktoren die Messwerte beeinflusst haben?										

4 Physik 4.Jahr

4.1 Physikalische Größen

Grundlagen:

- Welche Bedeutung haben Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega? (siehe Abschnitt 1.2)
- Beispiele für die Verwendung von Milli, Zenti, Dezi, Kilo und Mega (siehe Abschnitt 1.2)
- Kohärente SI-Einheiten (siehe Abschnitt 3.3)
- Eckige Klammern und kohärente Einheiten (siehe Abschnitt 3.4)
- Änderung einer physikalischen Größe (Differenz) (siehe Abschnitt 3.5)

Beispiele physikalischer Größen mit Formelzeichen (Symbolen) und Einheiten				
physikalische Größe	Symbol	Beispiele für Maßeinheiten (kurz: Einheiten)	SI-Einheit	Wert einer physikalischen Größe
Zeit	t	s, min, h, d, a	s	$t = 10 \text{ s}$
Ortsvektor	\vec{s}	mm, cm, dm, m, km	m	$s = 2 \text{ m}$
Geschwindigkeit	\vec{v}	$\frac{\text{cm}}{\text{s}}, \frac{\text{m}}{\text{s}}, \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Beschleunigung	\vec{a}	$\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}, \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \frac{\text{km}}{\text{h}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Fläche	A	mm ² , cm ² , dm ² , km ²	m ²	$A = 2,4 \text{ m}^2$
Volumen	V	mm ³ , cm ³ , dm ³ , m ³ , km ³	m ³	$V = 1,7 \text{ m}^3$
Masse	m	g, kg, t	kg	$m = 85 \text{ kg}$
Energie	\mathcal{E}, W	J (Joule), kJ, MJ	J	$W = 1500 \text{ J}$
Leistung (Energiestromstärke)	P	W (Watt), kW, MW, GW	W	$P = 60 \text{ W}$
Druck	p	Pa (Pascal), bar (1 bar = 100 000 Pa)	Pa	$p = 101\,300 \text{ Pa}$
elektrische Ladungsmenge	Q	C (Coulomb)	C	$Q = 0,001 \text{ C}$
elektrische Stromstärke (Ladungsstromstärke)	I	A (Ampere), $\frac{\text{C}}{\text{s}}$	A	$I = 0,02 \text{ A}$
elektrisches Potenzial	φ	V (Volt)	V	$\varphi = 0 \text{ V}$
elektrische Spannung	U	V (Volt)	V	$U = 12 \text{ V}$
elektrischer Widerstand	R	Ω (Ohm)	Ω	$R = 47 \Omega$
Periodendauer	T	s, min, h, d, a	s	$T = 0,0023 \text{ s}$
Frequenz	f	Hz (Hertz) $\frac{1}{\text{s}}$		$f = 440 \text{ Hz}$
Amplitude	\hat{s}	m (Meter); mm,...		$\hat{s} = 0,05 \text{ m}$
Impuls	\vec{p}	Hy (Huygens) = $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$p = 1500 \text{ Hy}$
Kraft (Impulsstromstärke)	\vec{F}	N (Newton) = $\frac{\text{Hy}}{\text{s}} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	N	$F = 7,5 \text{ N}$
Temperatur	T	K (Kelvin)	K	$T = 300 \text{ K}$
Entropie	S	Ct (Carnot) = $\frac{\text{J}}{\text{K}}$	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$	$S = 3900 \text{ Ct}$
Entropiestromstärke	I_S	$\frac{\text{Ct}}{\text{s}}$ (Carnot pro Sekunde)	$\frac{\text{J}}{\text{Ks}}$	$I_S = 25 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$

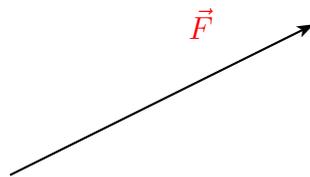
4.2 Skalare und Vektoren

Die uns bekannten physikalischen Größen können in „Skalare“ und „Vektoren“ aufgeteilt werden. Vektoren hängen von der Richtung im Raum ab, Skalare nicht.

Beispiele:

- Skalare: Zeit, Fläche, Volumen, Masse, Energie, Leistung, Druck, elektrisch Ladung, elektrische Stromstärke, elektrisches Potenzial, elektrischer Spannung, elektrischer Widerstand, Temperatur, Entropie, Entropiestromstärke, Periodendauer, Frequenz, Amplitude
- Vektoren: Ortsvektor, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Impuls und Kraft

Um Vektoren und Skalare voneinander zu unterscheiden, wird bei Vektoren über das Symbol ein kleiner Pfeil gezeichnet: \vec{s} , \vec{v} , \vec{a} , \vec{p} , \vec{F} . Vektoren können durch Pfeile dargestellt werden:



Die Richtung des (schwarzen) Pfeils gibt die Richtung der physikalischen Größe an. Die Länge des (schwarzen) Pfeils gibt den Betrag der physikalischen Größe an. Hierbei muss allerdings zuerst ein Zeichenmaßstab vereinbart werden. Zum Beispiel: $1\text{cm} \hat{=} 50\text{N}$.

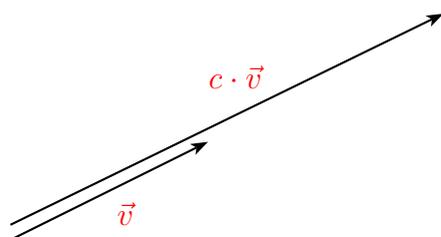
Möchte man nicht die Richtung, sondern nur den Betrag einer physikalischen Größe angeben, so lässt man den kleinen Pfeil über dem Symbol weg. Zum Beispiel: $F = 7,5\text{N}$

4.3 Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar

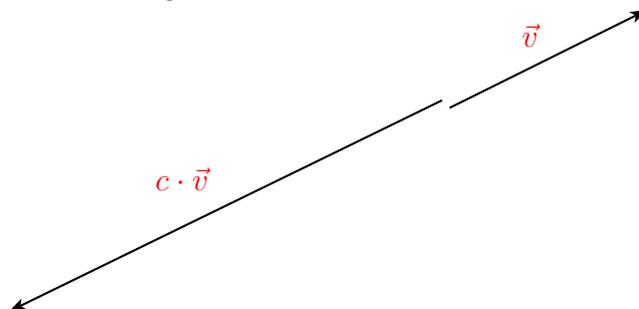
Wird ein Vektor \vec{v} mit einem Skalar c multipliziert, dann entsteht wieder ein Vektor $\vec{w} = c \cdot \vec{v}$.

Der neue Vektor \vec{w} hat dann die Länge $w = |c \cdot v|$. Falls der Wert von c positiv ist, zeigen \vec{w} und \vec{v} in die gleiche Richtung. Ist der Wert von c negativ, dann zeigen \vec{w} und \vec{v} in entgegengesetzte Richtungen:

falls c positiv:



falls c negativ:

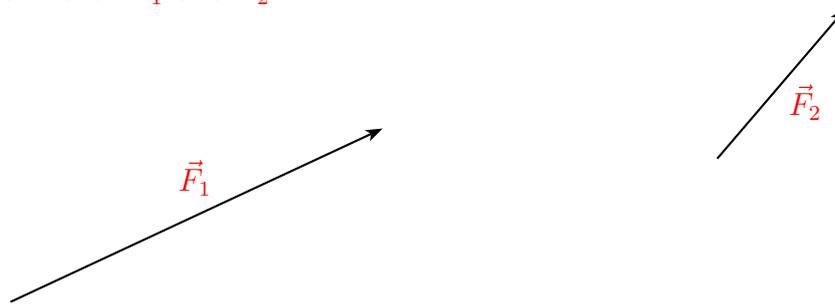


Beispiel Impuls: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

Da die Masse eines Körpers immer positiv ist, zeigen Impuls und Geschwindigkeit in die gleiche Richtung.

4.4 Vektoraddition

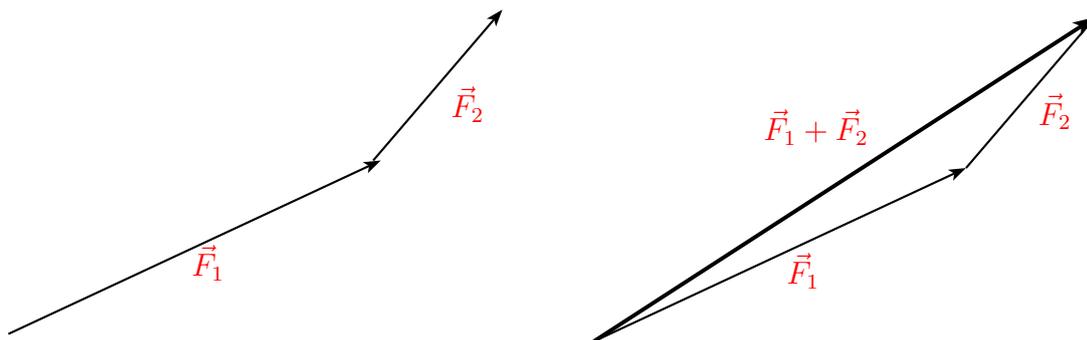
Gegeben sind die Vektoren \vec{F}_1 und \vec{F}_2 :



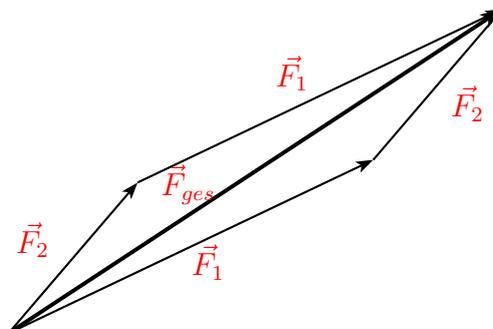
Die Addition von Vektoren ergibt wieder ein Vektor: $\vec{F}_{ges} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

Wie kann man diesen Vektor \vec{F}_{ges} zeichnerisch konstruieren?

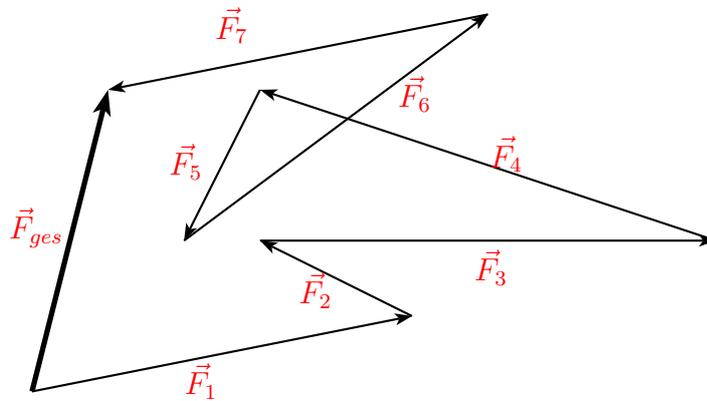
Bringe durch Parallelverschiebung von Vektor \vec{F}_1 oder Vektor \vec{F}_2 den Anfangspunkt von Vektor \vec{F}_2 an die Spitze des Vektors \vec{F}_1 . Verbinde dann den Anfangspunkt von Vektor \vec{F}_1 mit der Spitze von \vec{F}_2 :



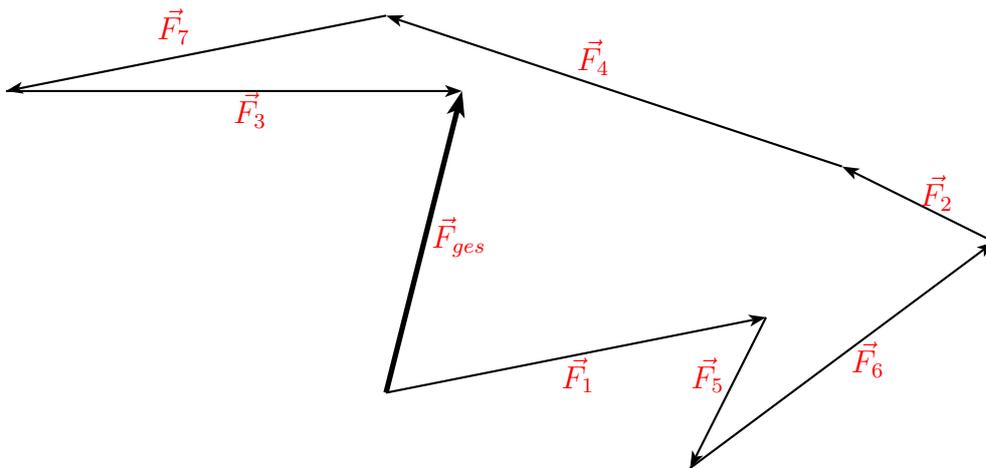
Es gilt: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_1$, d. h., die Vektoraddition ist kommutativ. Daher kann man die Vektoraddition von zwei Vektoren auch als Vektorparallelogramm darstellen:



Bei der Addition von mehr als zwei Vektoren kann das Vektorparallelogramm nicht verwendet werden. Mehrere Vektoren können durch Parallelverschiebung (analog zu obiger Beschreibung) zeichnerisch addiert werden. Auch hier ist die Reihenfolge der Summanden beliebig (Kommutativgesetz)



oder



Offensichtlich gilt (z.B.) $\vec{F}_{ges} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 + \vec{F}_6 + \vec{F}_7 = \vec{F}_1 + \vec{F}_5 + \vec{F}_6 + \vec{F}_2 + \vec{F}_4 + \vec{F}_7 + \vec{F}_3$

4.5 Änderung einer physikalischen Größe

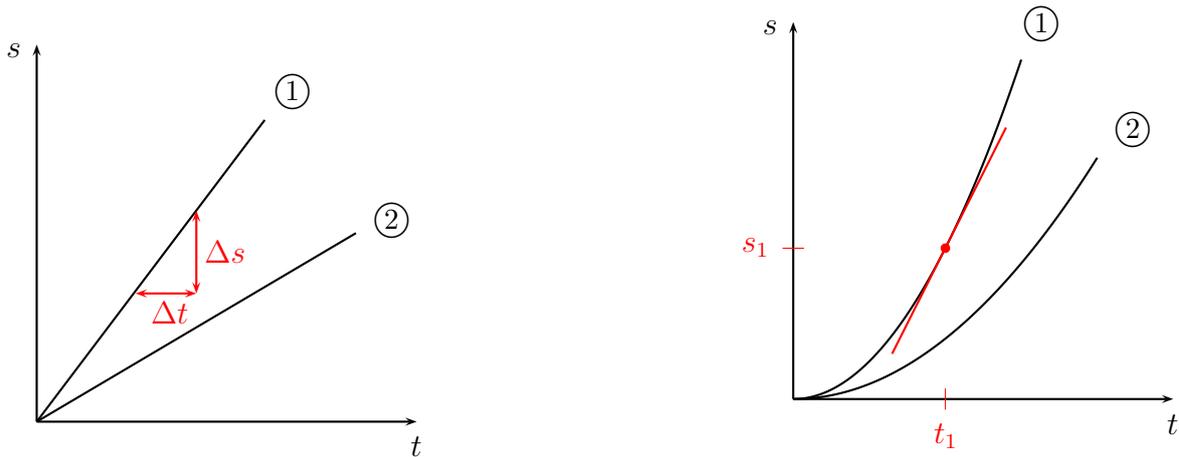
Grundlage: Änderung einer physikalischen Größe (Differenz) (siehe Abschnitt 3.5)

Darstellen und Erkennen von Änderungen einer physikalischen Größe mithilfe unterschiedlicher Schaubilder am Beispiel:

z. B. gleichförmige Bewegung(en)

z. B. (gleichmäßig) beschleunigte Bewegung(en)

dargestellt mithilfe eines t-s-Diagramms



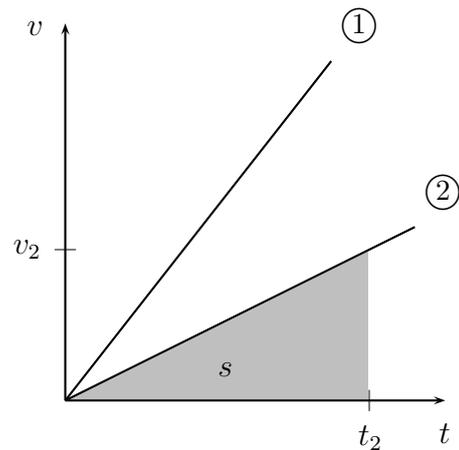
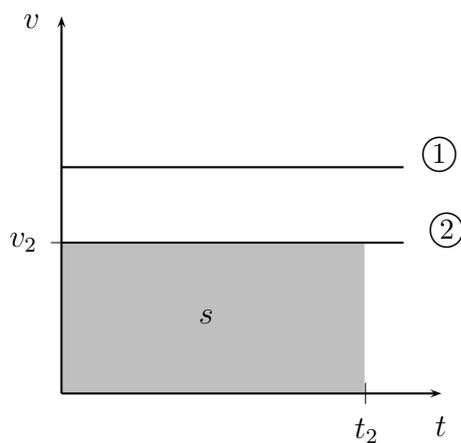
- Ursprungsgerade → Proportionalität zwischen den abgebildeten Größen, hier: s und t
- Die Steigung der Kurve stellt meist wieder eine sinnvolle physikalische Größe (hier: v) dar.
- Steigung entspricht Quotient aus den abgebildeten Größen, hier: $\frac{s}{t}$ und kann per **Steigungsdreieck** ermittelt werden: $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ (was v ist).
- Parabel → quadratischer Zusammenhang zwischen den abgebildeten Größen, hier: s und t
- Steigung ändert sich kontinuierlich; sie wird anhand der Steigung der **Tangente im gesuchten Punkt ($s_1|t_1$)** ermittelt. (für Fortgeschrittene: $\frac{ds}{dt}$, was wieder v ist und folgendermaßen notiert werden kann:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$$
)
- Größere Steigung bedeutet hier also höhere Geschwindigkeit,
- d. h., Bewegung 1 ist immer schneller als Bewegung 2
- Gleichung des Graphen hier: $s = v \cdot t$
- d. h., Bewegung 1 ist zum gleichen Zeitpunkt (z. B. t_1) schneller als Bewegung 2 (bei t_1)
- Gleichung des Graphen hier: $s = \frac{1}{2}a \cdot t^2$ (vgl. unten)
- Für Fortgeschrittene: Die Steigung der Kurve im t-s-Diagramm zu einem beliebigen Zeitpunkt t_1 ist die Ableitung (das Differenzial) der Kurve in diesem Punkt:

$$\dot{s}(t) = \frac{d(v \cdot t)}{dt} = v$$

$$\dot{s}(t_1) = \left. \frac{d\left(\frac{1}{2}a \cdot t^2\right)}{dt} \right|_{t=t_1} = a \cdot t_1 = v(t_1)$$

Das Ganze (also die gleichen Bewegungen) kann man auch mithilfe eines t - v -Diagramms beschreiben:



- Kurve 1 liegt über Kurve 2, d.h., hier ist v_1 größer als v_2
- konstante Funktion (v -Wert bleibt jeweils gleich) \rightarrow konstante Geschwindigkeit
- Die Steigung ist null, d. h., die Beschleunigung ist auch null (vgl. rechts)
- Die schraffierte Rechtecksfläche unter Kurve 2 ist: $v_2 \cdot t_2 = s_2$ also der in der Zeit t_2 mit der Geschwindigkeit v_2 zurückgelegte Weg s_2 .
- Kurve 1 steigt steiler als Kurve 2, d.h., die Geschwindigkeitszunahme (also die Beschleunigung) bei 1 ist höher als die bei 2
- konstante Zunahme (t - v -Kurve ist eine Gerade) \rightarrow konstante Beschleunigung
- Die Steigung der Gerade ist $\frac{v}{t} = a$, entspricht also der Beschleunigung
- Die schraffierte Dreiecksfläche unter Kurve 2 ist: $\frac{1}{2} \cdot v_2 \cdot t_2 = s_2$
- Mit dem obigen Zusammenhang $\frac{v}{t} = a$, hier also $v_2 = a_2 \cdot t_2$, ergibt sich: $s_2 = \frac{1}{2} \cdot a_2 \cdot t_2^2$ für den in der Zeit t_2 mit der Beschleunigung a_2 zurückgelegten Weg.
- Für Fortgeschrittene: Hier ist der zurückgelegte Weg jeweils das Integral der Kurve im entsprechenden Kurvenabschnitt:

$$s(t_2) = \int_0^{t_2} v_2 dt = v_2 \cdot t_2$$

$$s(t_2) = \int_0^{t_2} a_2 t dt = \frac{1}{2} a_2 \cdot t_2^2$$

4.6 Auswerten mit dem GTR

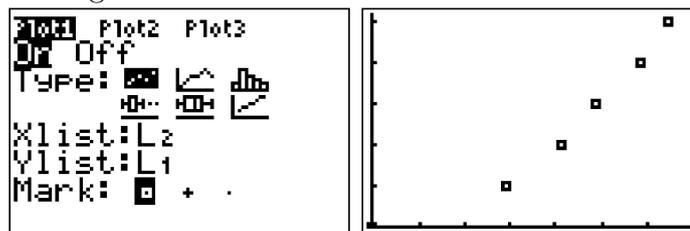
Beispiel: Bei einer Bewegung wurden folgende Werte aufgenommen:

s in m	0	5	10	15	20	25
t in s	0,0	2,9	4,1	4,9	5,9	6,5

- Um die Werte mit dem GTR bearbeiten zu können, müssen wir sie in **Listen** speichern. Es wird jeweils eine eigene Liste für s(L1) und t(L2) verwendet. Die Listen erreicht man über STAT/EDIT/Edit...:

L1	L2	L3	1
0	0	-----	
5	2,9		
10	4,1		
15	4,9		
20	5,9		
25	6,5		
-----	-----		
L1(?)=			

- Ein **Punkte-Schaubild** kann gezeichnet werden mithilfe 2ND/STAT PLOT. Dies geschieht durch aktivieren von „On“. Dabei muss die Liste mit den Werten auf der x -Achse (also) unter Xlist und die mit den Werten auf der y -Achse (also) unter Ylist eingetragen werden (s. Zeile 4 und 5). Das Ergebnis zeigt das zweite Bild.



- (Siehe auch **3.8 Funktionale Zusammenhänge erkennen**):

Aus dem Verlauf des Diagramms kann man eine parabelförmige Funktion vermuten. D.h., es gilt der proportionale Zusammenhang $s \sim t^2$. Diese Vermutung kann man am besten überprüfen, indem man kontrolliert, ob $\frac{s}{t^2}$ bei allen Wertepaaren in etwa gleich groß ist, denn das kann man einfach über die Listen durchführen.

- Überprüfung des Zusammenhangs:**

- Überprüfung der Proportionalität. Hierbei ist es vorteilhaft, die Startwerte (0|0) zu löschen (Teilen durch null ist nicht möglich).

L1	L2	L3	2
5	2,9	-----	
10	4,1		
15	4,9		
20	5,9		
25	6,5		
-----	-----		
L2(6) =			

Mit dem GTR lässt sich die Formel $\frac{s}{t^2}$ in einem Schritt überprüfen, denn in den Listen können auch Formeln eingetragen werden. Am einfachsten gibt man in L3 die Formel L1/L2² ein (L1 enthält ja die s-Werte und L2 die t-Werte). Dazu den Cursor auf die Kopfzeile von L3 (also auf den Namen (L3 selbst) bewegen und die Formel eingeben und mit ENTER abschließen. Die Listenwerte werden soweit berechnet, wie Werte in L1 und L2 vorhanden

sind (Achtung: Die Listen müssen gleich lang sein. Erhält man eine Fehlermeldung wie im dritten Bild, weist darauf hin, dass eine der Listen L1 oder L2 kürzer als die andere ist).

L1	L2	L3	ERR: DIM MISMATCH
5	2.9		Quit
10	4.1		Goto
15	4.9		
20	5.9		
25	6.5		
L3=L1/L2^2			

L1	L2	L3	
5	2.9	.59488	
10	4.1	.62474	
15	4.9	.57455	
20	5.9	.59172	
25	6.5		
L3(1)=.5945303210...			

In Liste L3 kann man sehen, dass die Werte ungefähr bei $0,6 \frac{m}{s^2}$ liegen, also konstant sind.

- (b) Überprüfung mit Funktionsterm.

Berechnung einer Regressionsfunktion mit dem GTR. Dabei muss vorher eine Vermutung über die Art des vermutlichen Zusammenhangs (hier Parabel förmiges Schaubild also quadratische Funktion) gefunden werden. Dazu im Menü STAT auf das Untermenü CALC gehen. Dort die vermutete Funktionsklasse auswählen (hier: 5: QuadReg):

```

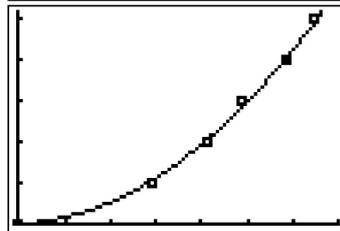
EDIT TESTS
1:1-Var Stats
2:2-Var Stats
3:Med-Med
4:LinReg(ax+b)
5:QuadReg
6:CubicReg
7:QuartReg

QuadReg
y=ax^2+bx+c
a=.5609722716
b=.181593845
c=-.0429864356
    
```

```

QuadReg L2,L1,Y1
    
```

L2 ist dabei die Liste der x -Werte und L1 die Liste der y -Werte. Das Ergebnis wird als Funktion in Y1 gespeichert.



Beachte, dass der GTR leider nicht in der Lage ist b und c als 0 vorzugeben, deswegen weichen die Ergebnisse leicht ab. Das Schaubild geht „schön“ durch die Punkte.

- (c) Ergebnis:

Beide Wege führen zur Bestätigung der Annahme einer quadratischen Funktion. Variante 1 zeigt $s \sim t^2$, Variante 2 gibt eine Näherungsfunktion mit $s(t) = 0,6 \frac{m}{s^2} \cdot t^2 + 0,2 \cdot t$ an (der konstante Summand ist gerundet 0).

Kennt man schon die Formel $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ kann man erkennen, dass der Term $+0,2 \cdot t$ vernachlässigbar ist (er könnte auch auf eine Startgeschwindigkeit von $0,2 \frac{m}{s}$ hinweisen). $0,6 \frac{m}{s^2}$ entspricht dabei $\frac{1}{2}a$, also gilt $a = 1,2 \frac{m}{s^2}$.

- (d) Hinweis: Mit den neueren Betriebssystemen des TI-84 Plus erhält man beim Aufruf der Regressionsfunktion das unten stehende Menü. Hier kann man die zu verwendenden Listen anpassen, bei Store RegEQ: entsprechend Y1 eingeben und die Berechnung mit Aufruf Calculate durchführen. Das Ausgabefenster ist daneben abgebildet.

```

QuadReg
Xlist:L2
Ylist:L1
FreqList:
Store RegEQ:Y1
Calculate
    
```

```

QuadReg
y=ax^2+bx+c
a=.5609722716
b=.181593845
c=-.0429864356
    
```

4.7 Auswerten mit dem WTR

Beispiel: Bei einer Bewegung wurden folgende Werte aufgenommen:

s in m	0	5	10	15	20	25
t in s	0,0	2,9	4,1	4,9	5,9	6,5

- Um die Werte mit dem WTR bearbeiten zu können, speichern wir sie in **Listen**. Es wird jeweils eine eigene Liste für s (L1) und t (L2) verwendet. Zur Sicherheit sollte man vorhandene Daten im Listeneditor löschen: **data** zweimal drücken, Menüpunkt 4:Clear ALL auswählen.
- Da man nicht wie beim GTR aus einem Schaubild heraus eine Vermutung über den funktionalen Zusammenhang aufstellen kann, muss man gegebenenfalls verschiedene Zusammänge überprüfen (Siehe auch 3.8) Hat man z.B. die Vermutung, dass $s \sim t^2$ ist kann man dies mit Hilfe des Quotienten $\frac{s}{t^2}$ tun, der bei allen Wertepaaren ungefähr gleich sein sollte.
- Dazu löscht man das Startwertepaar (0|0) aus den L1 und L2, da die Berechnung des Quotienten einen Fehler liefern würde (Division durch Null). In L3 wird nun eine Formel eingetragen: Mit **▶** wechselt man in L3 und ruft mit **data** das Menü auf, um mit **▶** ins Untermenü FORMULA zu wechseln. Hier wählt man 1:Add/Edit Frmla und gibt entsprechend L1/L2² ein. Auf die Listennamen greift man über die **data**-Taste, also im Listenmenü zu. Zeigt sich, dass die so berechneten Werte in L3 sehr ähnlich sind (in diesem Fall ca. $0,6 \frac{m}{s^2}$, ist damit der vermutete Zusammenhang bestätigt. Falls nicht, muss die in L3 eingegebene Formel mit 1:Add/Edit Frmla so lange geändert werden, bis die berechneten Quotienten hinreichend gut übereinstimmen.
- Für den bestätigten Funktionalen Zusammenhang (hier: quadratische Funktion) kann eine *Quadratische Regression* durchgeführt werden: Mit **2nd** **[stat-reg/distr]** gelangt man ins Regressionsmenü und wählt 5:QuadraticReg, was die Koeffizienten a , b und c einer quadratischen Funktion mit Term $s(t) = at^2 + bt + c$ berechnet. Man erhält hier näherungsweise (gerundet) die Funktion $s(t) = 0,6 \frac{m}{s^2} \cdot t^2 + 0,2 \cdot t$ (der konstante Summand ist gerundet 0).

Kennt man schon die Formel $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ kann man erkennen, dass der Term $+0,2 \cdot t$ vernachlässigbar ist (er könnte auch auf eine Startgeschwindigkeit von $0,2 \frac{m}{s}$ hinweisen). $0,6 \frac{m}{s^2}$ entspricht dabei $\frac{1}{2}a$, also gilt $a = 1,2 \frac{m}{s^2}$.

5 Physik Kursstufe

5.1 Einheitenbetrachtung

In physikalischen Formeln sind physikalische Größen durch ihre Formelzeichen repräsentiert und werden durch einen Term (in den meisten Fällen ein Produkt bzw. ein Quotient) miteinander verknüpft. Dieser Term verknüpft die zugehörigen Einheiten der Größen auf dieselbe Weise. Durch eine *Einheitenbetrachtung* kann entweder bei komplexeren Formeln eine Rechenkontrolle erfolgen, oder man erhält beim Verknüpfen von Formeln bzw. ihrer Einheiten neue physikalische Einsichten. Neu einzuführende Größen „erben“ ihre Einheit von den vorgegebenen Größen.

Beispiel: Das Coulomb-Gesetz lautet $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$. Für die Einheiten muss also gelten $[F] = \left[\frac{q_1 q_2}{\epsilon_0 r^2}\right]$:

$$\left[\frac{q_1 q_2}{\epsilon_0 r^2}\right] = \frac{\text{V m C}^2}{\text{A s m}^2} = \frac{\text{V C m}^{\cancel{0}}}{\cancel{\text{A}} \text{s m}^{\cancel{0}}} = \frac{\text{J}}{\text{m}} = \frac{\text{N m}}{\text{m}} = \text{N} = [F]$$

5.2 Rechnen mit komplexeren Formeln und Normdarstellung

In der Mittelstufe haben die meisten Formeln die Struktur, dass eine Größe als Produkt (bzw. Quotient) zweier anderer Größen dargestellt wird. Darüber hinaus sind die auftretenden Zahlenwerte oft weder besonders groß oder klein, so dass keine Normdarstellung verwendet werden muss. Berechnet man aber beispielsweise die elektrische Kraft zwischen Proton und Elektron im Wasserstoffatom (mit Bohrschem Radius), so ist die Formel für das Coulomb-Gesetz nicht mehr ganz einfach und die Verwendung von Normdarstellung wird notwendig. Insbesondere gibt es auch Ergebnisse, deren Größenordnung unklar ist, so dass sehr sorgfältig gerechnet werden muss, weil Rechenfehler dem Ergebnis nicht anzusehen sind.

Bei der Berechnung von Werten wird dabei folgendermaßen vorgegangen:

- Die gegebenen Werte und die verwendete Formel werden notiert:

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}; q_1 = q_2 = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}; r = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- Nach Einsetzen der Werte werden die Faktoren in drei Gruppen geordnet: Zahlen, Zehnerpotenzen und Einheiten. Nur für die Zahlen wird der Taschenrechner verwendet, die Zehnerpotenzen werden „von Hand“ multipliziert und die Ergebniseinheit ist als kohärente Einheit entweder klar oder wird durch eine Einheitenbetrachtung (s. 5.1) ermittelt:

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}} \frac{(1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2} \\ &= \frac{1,602^2}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 0,529^2} 10^{-19 \cdot 2 + 12 + 10 \cdot 2} \frac{\text{V m C}^2}{\text{A s m}^2} \\ &= 0,0824 \cdot 10^{-6} \text{ N} = 8,24 \cdot 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

- Typische Fehler bei der Rechnung: vergessene Potenzen (hier z.B. das Quadrat bei r^2), falsche Vorzeichen bei den 10er-Potenzen des Nenners und fehlende Klammer bei der Nennereingabe.

5.3 Messgenauigkeit und Fehlerrechnung

Grundlagen: Geltende Ziffern (siehe Abschnitt 3.6)

Jede Messung ist fehlerbehaftet, d.h., man erhält Meßwerte, die vom wahren Wert mehr oder weniger abweichen. Der wahre Wert kann nicht exakt gemessen werden!

Man unterscheidet folgende Fehler:

- **Systematische Fehler:** Z.B. können Messgeräte den Messwert nicht exakt, sondern nur mit einer bestimmten Genauigkeit angeben. Oder die Skala eines Gerätes stimmt nicht mit dem tatsächlichen Wert überein, weil es verstellt ist. Ebenso können es Einflüsse sein, die nicht berücksichtigt werden können, z.B. Druck, Temperatur etc. Kennt man diese Fehler, kann man sie bei der Fehlerbetrachtung berücksichtigen.
- **Zufällige Fehler:** Führt man mehrere gleiche Messungen durch, erhält man in der Regel nicht immer den gleichen Wert. Dies kann durch die Unzulänglichkeit der Sinnesorgane des Menschen und/oder durch die Ungeschicklichkeit beim Ablesen der Skala oder Anzeige geschehen. Sie unterliegen zufälligen Schwankungen. Um dem „wahren Messwert“ möglichst nahe zu kommen und um die „Unsicherheit“ genau zu bestimmen, gibt es mehrere Verfahren.

Nach jeder Messung muss man sich Gedanken über Messungenauigkeiten (Fehlerbetrachtung) machen. Ohne größeren mathematischen Aufwand lässt sich eine einfache Fehlerbetrachtung durchführen:

1. Einfache Fehlerbetrachtung

Überlege dir, wo bei der Messung Fehlerquellen aufgetreten können. Berücksichtige dabei

- die Genauigkeit des Messgerätes
- mögliche Ablesefehler
- fehlende Isolation bei thermischen Experimenten
- ...(andere Einflussmöglichkeiten)

Mit einem etwas größeren mathematischen Aufwand lassen sich präzisere Angaben über die Auswirkung von zufälligen Fehlern auf das Messergebnis gewinnen:

2. Vertiefung: Fehlerrechnung für zufällige Fehler

Um zufällige Fehler messbar zu machen, wird das Endergebnis einer Messung mit einer „Unsicherheit“ angegeben. Sinn und Zweck der Fehlerrechnung ist es, das Ausmaß dieser „Unsicherheit“ anzugeben. Unsicherheiten oder Fehler können auf zwei Arten angegeben werden:

- als absoluter Fehler ΔF oder
- als relativer Fehler $\Delta F/F$ in %.

Beispiel für eine Längenmessung:

Bei der Messung und Fehlerrechnung der Länge eines Körpers hat sich folgendes ergeben:

$$l = 0,92860\text{m}$$

$$\Delta l = \sigma = \pm 0,00397\text{m}$$

Mittelwert der Messung

Unsicherheit aus der Fehlerrechnung.
Oft, aber nicht immer, wird hier die Standardabweichung „ σ “ angegeben.
Dazu aber später.

Durch Rundung ergibt sich dann für das Endergebnis:

$$l = 0,92860\text{m} \pm 0,00397\text{m} \quad \text{oder}$$

$$l = 0,92860\text{m} \pm 0,4\%$$

Das Messergebnis rundet man so, dass es bei gleichen Maßeinheiten genauso viele Dezimalen besitzt wie der absolute Fehler.

Bei der Fehlerrechnung für zufällige Fehler werden folgende Größen berechnet:

1. Mittelwert

Führt man n Messungen durch, erhält man Messwerte x_1, x_2, \dots, x_n . Der Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

ist im Allgemeinen die beste Näherung für den wahren Wert.

2. Standardabweichung

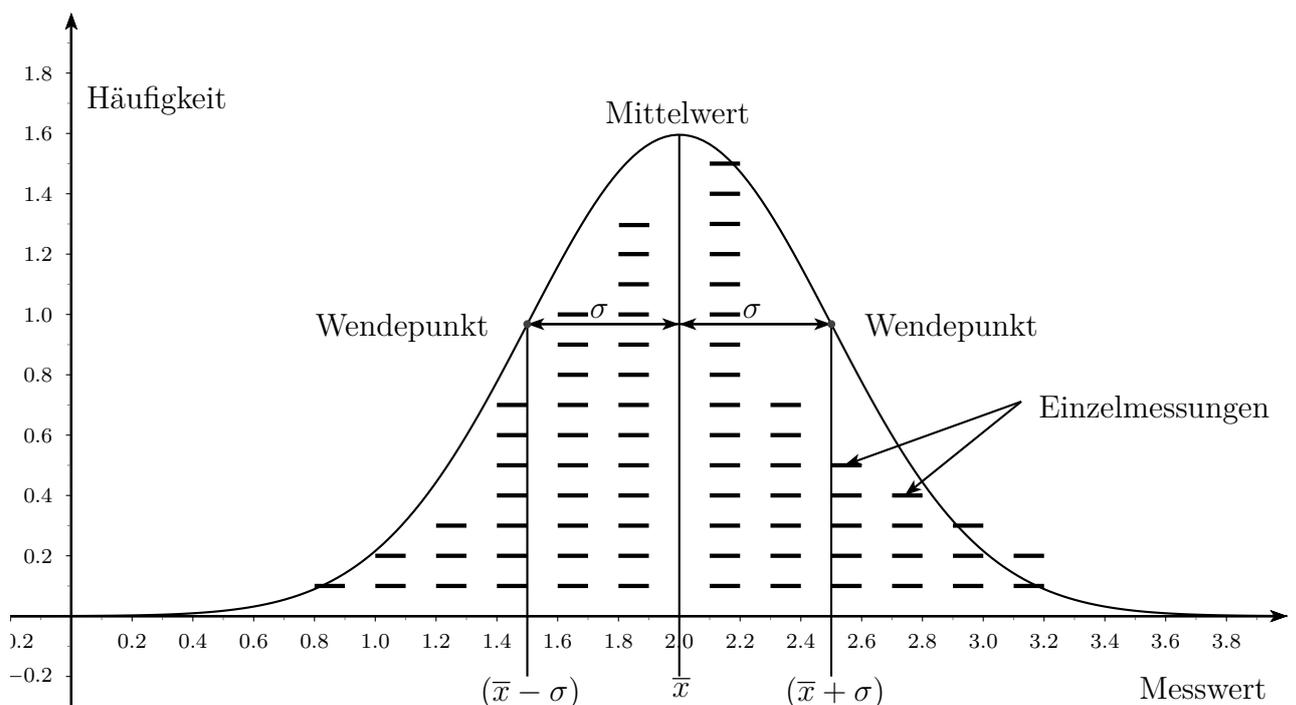
Sie ist ein Maß, wie weit die einzelnen Messwerte einer Messreihe zufällig vom Mittelwert abweichen:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}$$

Ist σ klein, liegen alle Messwerte nah am Mittelwert, d.h., die Messungen haben nur geringe zufällige Fehler.

Veranschaulichung der Standardabweichung bei einer Normalverteilung:

Anmerkung: Die meisten Messungen gehorchen der Normalverteilung (s. Abb.). Zwischen den Begrenzungen $\bar{x} - \sigma$ und $\bar{x} + \sigma$ liegen ca. 68,3% aller Messwerte.



- **Beispiel: einzelne Messreihe mit GTR**

Der Mittelwert und die Standardabweichung werden so berechnet:

Unter [STAT]{EDIT}/1:EDIT... wird eine leere Liste geöffnet, in die du die Meßwerte einträgst. Siehe Abbildung rechts:

L1	L2	L3	1
1.752			
1.6889			
1.75			
1.91			
1.6899			

L1() = 1.7624

Mit [STAT]{CALC}{1:1-Var Stats}[ENTER], {List:L1}[ENTER], {FreqList:}[ENTER], {Calculate}[ENTER] erhält man folgendes Fenster:

Hier sind \bar{x} der Mittelwert und σ_x die Standardabweichung.

```

1-Var Stats
x̄=1.760533333
Σx=10.5632
Σx²=18.628181
Sx=.0791394634
σx=.0722441155
↓n=6
    
```

Ergebnis: $V = 1,760533cm^3$ $\Delta V = \sigma = \pm 0,07913cm^3$

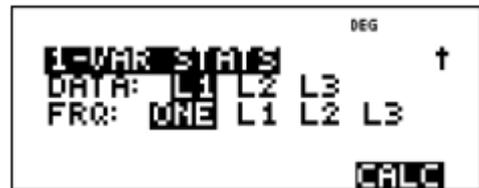
Gerundet ergibt dies: $V = 1,76cm^3 \pm 0,08cm^3$

Oder als relativer Fehler geschrieben: $V = 1,76cm^3 \pm 4,5\%$ (mit $0,08cm^3 / 1,76cm^3 = 4,5\%$)

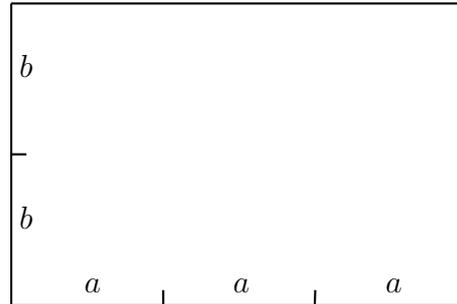
- **Beispiel: einzelne Messreihe mit WTR**

Der Mittelwert und die Standardabweichung einer einzelnen Messgröße werden so berechnet:

In L1 werden mit **data** die Werte eingetragen. Nach Verlassen des Menüs mit **2nd[quit]** wird mit **2nd[stat-reg/distr]** der Menüpunkt 2:1-Var Stats aus gewählt und mit **enter** ausgeführt. Im dann angezeigten Menü können Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung σ_x abgelesen werden. Alle Statistik-Werte bleiben bis zu einer neuen Berechnung über das Menü StatVars abrufbar. (Zahlen und Ergebnisse s. GTR-Beispiel)



- **Beispiel: Summen von Messgrößen** Komplizierter wird es, wenn sich Größen aus mehreren Einzelmessgrößen zusammensetzen, z.B. Der Umfang oder der Flächeninhalt eines Rechtecks:



Bei Summen von Messgrößen werden die **absoluten Fehler** addiert.

a sei ein Teilstück der Seitenlänge A und b sei ein Teilstück der Breite B . Δa wäre beispielsweise

- die Standardabweichung „ σ “ von a
- oder der geschätzte Messfehler Δa der Größe a
- oder die Genauigkeit des Längenmessgeräts

z.B. $\Delta a = \pm 1\text{mm}$ und $\Delta b = \pm 1\text{mm}$. Mit $a = 30\text{mm}$ und $b = 35\text{mm}$ ergibt sich dann für den Umfang:

$$U = 6 \cdot a + 4 \cdot b$$

$$U = 6 \cdot 30\text{mm} + 4 \cdot 35\text{mm} = 320\text{mm}$$

$$\Delta U = \pm(6 \cdot 1\text{mm} + 4 \cdot 1\text{mm}) = 10\text{mm}$$

Der relative Fehler beträgt: $\Delta U/U = \pm 10\text{mm}/320\text{mm} = 0,03125 = 3\%$ (gerundet).

Das Ergebnis lautet: $U = 320\text{mm} \pm 10\text{mm}$ oder $U = 320\text{mm} \pm 3\%$.

- **Beispiel: Produkte von Messgrößen**

Bei Produkten von Messgrößen werden die **relativen Fehler** addiert.

Betrachten wir den Flächeninhalt des obigen Rechtecks:

$$A = 3 \cdot a \cdot 2 \cdot b = 6 \cdot a \cdot b$$

Mit den vorigen Fehler- und Längenangaben ergibt sich für den relativen Fehler des Flächeninhalts dann:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta A}{A} &= \pm \left(\left| \frac{\Delta a}{a} \right| + \left| \frac{\Delta b}{b} \right| \right) \\ &= \pm \left(\left| \frac{1\text{mm}}{30\text{mm}} \right| + \left| \frac{1\text{mm}}{35\text{mm}} \right| \right) \\ &= \pm (|0,033| + |0,0285|) = \pm 0,062 = 6,2\% \end{aligned}$$

Der Flächeninhalt beträgt : $A = 3 \cdot 30\text{mm} \cdot 2 \cdot 35\text{mm} = 6300\text{mm}^2$

Bemerkung: Im obigen Beispiel sind die Zahlfaktoren exakt, d.h. nicht fehlerbehaftet und müssen nicht in die Fehlerbetrachtung einbezogen werden. Dies gilt generell für physikalische Formeln mit Zahlfaktoren, wie z.B. auch in $W_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$

Das Ergebnis heißt somit gerundet:

$A = 6300\text{mm}^2 \pm 7\%$ (Prozentangaben werden immer aufgerundet, von 6,2% auf 7%) **oder**
 $A = 6300\text{mm}^2 \pm 441\text{mm}^2$ oder $A = (6300 \pm 441)\text{mm}^2$

- **Messgrößen mit höherer Potenz**

Kommen Messgrößen mit Funktionen in höherer Potenz vor, dann werden die Relativfehler mit dem Exponenten multipliziert.

Beispiel:

Die Berechnung der Gravitationskonstanten aus der Schwingung eines Fadenpendels.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}$$

Die Messgröße T kommt in der Formel in der zweiten Potenz vor, die Messgröße l in der ersten Potenz.

Die Messungen liefern beispielsweise:

Mittelwert von l : $l = 0,9286\text{m}$; $\Delta l = 0,0039\text{m}$

Mittelwert von T : $T = 1,933\text{s}$; $\Delta T = 0,0018\text{s}$.

Für den relativen Fehler von g ergibt sich nun:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta g}{g} &= \pm \left(1 \cdot \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta T}{T} \right| \right) \\ &= \pm \left(1 \cdot \left| \frac{0,0039\text{m}}{0,9286\text{m}} \right| + 2 \cdot \left| \frac{0,0018\text{s}}{1,933\text{s}} \right| \right) \\ &= \pm (|0,042| + |0,0019|) = \pm 0,0061 = 0,61\% \approx 1\% \end{aligned}$$

Das Ergebnis ist somit: $g = 9,816\text{m/s}^2 \pm 1\%$ oder $g = (9,816 \pm 0,098)\text{m/s}^2$