

Hinweise zum Schreiben einer Ausarbeitung (Physikalisches Praktikum für Physiker)

Autor: M. Saß
Physik-Department
Technische Universität München
30.06.22

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau einer Ausarbeitung	2
1.1	Die Einleitung / das Abstract	2
1.2	Die Beschreibung der verwendeten Methoden (Grundlagen)	2
1.3	Das Experimentelle Vorgehen	3
1.4	Die Ergebnisse	3
1.5	Die Diskussion	3
1.6	Die Zusammenfassung	3
1.7	Der Anhang	3
1.8	Das Literaturverzeichnis	3
2	Formatierungsfragen	4
2.1	Text und Überschriften	4
2.2	Formeln	4
2.3	Werte	4
2.4	Tabellen	5
2.5	Abbildungen	6
3	Was muss in die Ausarbeitung?	7
4	Was gilt es zu vermeiden?	7
5	Was ist sonst zu beachten?	8
6	Beispiele	9
6.1	Werteangaben	9
6.2	Abbildungen und logarithmische Darstellung	9
6.3	Gleichung mit eingesetzten Werten	9

Machen Sie sich einmal die Mühe, eine vernünftig strukturierte Ausarbeitung als „Vorlage“ zu erstellen, die Sie dann durch das ganze Praktikum (evtl. sogar das Fortgeschrittenenpraktikum) verwenden können.

Formulieren Sie die Ausarbeitung in ganzen Sätzen. Eine Stichpunktsammlung mit Rechnungen ist nicht ausreichend. Die Länge der Ausarbeitung darf aber 10 Seiten nicht überschreiten. Was darüber hinaus geht, wird nicht gewertet!

1 Aufbau einer Ausarbeitung

Der typische Aufbau einer wissenschaftlichen Arbeit besteht aus:

1. Einleitung/Abstract
2. Beschreibung der verwendeten Methoden (Grundlagen)
3. Experimentelles Vorgehen
4. Ergebnisse (mit Betrachtung der Unsicherheiten)
5. Diskussion der Ergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Anhang (wenn nötig)
8. Literaturverzeichnis

An diesem Aufbau sollten Sie sich orientieren, wenn Sie Ihre Ausarbeitung schreiben. Die Grenzen zwischen den einzelnen Bereichen können dabei durchaus variieren. Es kann zweckmäßig sein, einzelne Punkte zusammenzufassen (z.B. Ergebnisse und Diskussion, Diskussion und Zusammenfassung).

Bei manchen Versuchen, bei denen verschiedene Methoden verwendet werden, lassen sich auch die Bereiche 2-5 für jede Methode einzeln ausführen. Der Aufbau muss aber so sein, dass klar nachvollziehbar ist, was Sie gemacht haben, und welcher Teil der Ausarbeitung zu welchem Teil des Versuches gehört.

1.1 Die Einleitung / das Abstract

In der Einleitung soll die Idee des Versuches kurz wiedergegeben werden. Sie soll höchstens zwei bis drei Sätze umfassen, außer es werden darin die zu manchen Versuchen vorhandenen „Vorüberlegungen“ behandelt.

Zusätzlich kann man auch einen Abstract schreiben, in dem kurz die Inhalte und Ergebnisse des Versuchs angeführt werden. Das Abstract erscheint als abgesetzter Text vor dem Inhaltsverzeichnis, ähnlich dem „Teaser“ (Anreißer) einer Zeitung. Der Abstract ist optional und ersetzt nicht die Einleitung.

1.2 Die Beschreibung der verwendeten Methoden (Grundlagen)

Hier wird die verwendete Methode, d.h. der physikalische Hintergrund des Versuches, kurz skizziert. Dabei müssen die für die Auswertung wichtigen Formeln explizit angegeben **und motiviert** werden. Es ist aber keine vollständige Herleitung gefordert, sondern eher eine Darlegung der Grundgedee (z.B. ein zugrunde liegendes Kräftegleichgewicht). Die Beschreibung soll also nicht so detailliert sein, wie die Versuchsanleitung, es ist sinnvoller, auf die Versuchsanleitung zu verweisen (s. Literaturverzeichnis). Allerdings müssen alle Größen, die gemessen oder verwendet werden, benannt sein.

Aus den hier angegebenen Formeln ergibt sich dann, welche Größen bestimmt werden müssen und damit direkt das experimentelle Vorgehen.

1.3 Das Experimentelle Vorgehen

In diesem Punkt wird beschrieben, wie tatsächlich gemessen wurde, z.B. wie viele Messungen gemacht wurden, oder mit welcher Apparatur und welchen Geräten Sie gemessen haben (falls vorhanden Gerätenummer, o.ä.). Eingestellte, wichtige Parameter können hier genannt werden. Es soll aber kein „Erlebnisbericht“ geschrieben werden.

1.4 Die Ergebnisse

Geben Sie Ihre Messergebnisse (Mittelwerte, nicht jedoch alle Einzelmessungen) mit Unsicherheiten an, und führen auf, welche Unsicherheiten berücksichtigt wurden, und welche nicht. Es ist üblich, erst das Ergebnis mit Unsicherheit anzugeben, und danach die Unsicherheiten zu diskutieren (was wurde berücksichtigt.)

Stellen Sie Ihre Messdaten anschaulich in Graphen oder kurzen Tabellen dar, und beschreiben diese. Meistens lassen sich Abhängigkeiten in den Daten besser über Abbildungen beschreiben als über Tabellen.

Abschließend wird das aus den Messergebnissen gewonnene Endergebnis mit Unsicherheit angegeben.

Die ausführliche Berechnung der Unsicherheiten und längere Zwischenrechnungen sind meist besser in einem Anhang als im Text aufgehoben.

1.5 Die Diskussion

Diskutieren Sie Ihr Ergebnis: Was sagt es aus? Ist es realistisch?

Falls dieselbe Größe auf unterschiedliche Arten bestimmt wurde, müssen die Ergebnisse vergleichend diskutiert werden.

Wenn möglich ist das Ergebnis mit Literaturwerten zu vergleichen (Zitate nicht vergessen!) Mögliche Gründe für eventuelle Abweichungen müssen angeführt werden.

1.6 Die Zusammenfassung

Fassen Sie die wichtigsten Punkte des Versuchs noch einmal zusammen.

1.7 Der Anhang

In einem Anhang kann all das dargestellt werden, was für den Textfluss der eigentlichen Ausarbeitung zu lang ist. Dies sind im Praktikum hauptsächlich längere Rechnungen, z.B. eine ausführliche Fehlerrechnung. Außerdem kann die Beantwortung der Fragen zu den Versuchen im Anhang erfolgen.

Die Rohdaten der Messungen können im Anhang (und nicht im Text) tabelliert werden. Dies ist hilfreich, wenn das Protokoll nur schwer lesbar ist (sollte eigentlich nicht vorkommen!), oder um die Versuche „komplett“ zu archivieren.

1.8 Das Literaturverzeichnis

Wenn Sie Informationen verwenden, die nicht von Ihnen selbst stammen, müssen Sie die Quelle zitieren. Im Praktikum wird man meist zumindest die Anleitung als Referenz angeben. Aber auch bei Literaturwerten, mit denen die gemessenen Werte verglichen werden, muss die Herkunft angegeben werden.

Die Referenz auf die vorliegenden Hinweise oder ein typisches Lehrbuch können z.B. so aussehen:

1. M. Saß, „Hinweise zum Schreiben einer Ausarbeitung“, 30.06.22
Bezugsquelle: <http://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/AUS.pdf><http://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/AUS.pdf>
2. W. Demtröder, „Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015

„Wikipedia“ ist zwar oft geeignet, sich schnell einen Überblick zu verschaffen, als Quellenangabe aber nicht anerkannt. Hier sollten Sie sich angewöhnen, andere Quellen zu suchen, z.B. Formelsammlungen, Lehrbücher, Veröffentlichungen, etc.

2 Formatierungsfragen

2.1 Text und Überschriften

Wählen Sie eine gut lesbare Schriftgröße (10-12 pt), die Sie für den ganzen Text beibehalten.

Überschriften und Unterüberschriften sollen nummeriert, und ihrer Hierarchie entsprechend hervorgehoben werden (Größe, Fettdruck, etc.)

2.2 Formeln

Wichtige Formeln und Gleichungen werden in eigenen Zeilen gesetzt und nummeriert. So kann man später im Text darauf verweisen.

Mit der Linsengleichung

$$\frac{f}{a} + \frac{f'}{a'} = 1 \quad (1)$$

lassen sich in der geometrischen Optik Abbildungen beschreiben.

...

Später im Text kann dann auf die Gleichung (1) verwiesen werden.

Prinzipiell sind die Gleichungen in den Text eingebunden, sie werden nur abgesetzt dargestellt. Es erfolgt kein Verweis auf erst folgende Gleichungen.

Gleichungen mit eingesetzten Werten kennt man zwar aus der Schule, dies ist aber in den Ausarbeitungen nicht gewünscht. Insbesondere wenn man jede Größe auch noch mit Unsicherheit einsetzt, ist das nicht mehr lesbar. Geben Sie also die Gleichungen mit Parametern an, die Parameter werden dann im Text angegeben.

2.3 Werte

Wenn Sie Messwerte oder daraus abgeleitete Werte angeben, müssen Sie diese mit Unsicherheit und Einheit angeben. Dabei wird die Unsicherheit im Praktikum auf zwei signifikante Stellen angegeben, der Wert dann entsprechend auf die gleiche Genauigkeit gerundet. Es gibt zwei gängige Möglichkeiten der Angabe:

1. **(Wert \pm Unsicherheit) Einheit**,
wobei Wert und Unsicherheit immer die Gleiche Größenordnung haben.
Ein Beispiel: Länge $l = (3,456 \pm 0,078)$ mm.

Tabelle 1: Die gängigen Vorsilben zur Abkürzung von Größenordnungen. „da“ und „d“ verwendet man in der Physik seltener. In diesen Fällen, und auch bei den nicht aufgeführten „Zwischen“-Größenordnungen gibt man die Zahlen günstig an (z.B. 1 dam = 10 m, 1 dm = 0,1 m = 10 cm).

Größenordnung	Zeichen	Name
10^{12}	T	Tera
10^9	G	Tiga
10^6	M	Mega
10^3	k	Kilo
10^2	h	Hekto
10^1	da	Deka
10^{-1}	d	Dezi
10^{-2}	c	Centi
10^{-3}	m	Milli
10^{-6}	μ	Mikro
10^{-9}	n	Nano
10^{-12}	p	Piko
10^{-15}	f	Femto
10^{-18}	a	Atto

Die erste signifikante Stelle der Unsicherheit (ungleich Null) ist die „7“, daher hat man drei Nachkommastellen und rundet den Wert entsprechend. Die Einheit ist nicht kursiv und hat einen Abstand zum Wert. Die Größenordnung der Einheit ist mit der Vorsilbe „m“ angegeben. Diese Vorsilben sollen für die gängigen Größenordnungen (siehe Tabelle 1) verwendet werden. Man schreibt hier „mm“ und nicht 10^{-3} m.

2. Wert(Unsicherheit) Einheit,

wobei sich die Stellen der Unsicherheit auf die letzten Stellen des Wertes beziehen.

Das obige Beispiel wird dann als $l = 3,456(78)$ mm geschrieben, beide Angaben sind gleichbedeutend.

Während man in älteren Veröffentlichungen hauptsächlich die erste Schreibweise findet, wird inzwischen die zweite Schreibweise empfohlen, und setzt sich immer mehr durch.

2.4 Tabellen

Tabellen werden durchnummeriert, so kann im Text darauf verwiesen werden. Tabellen sollen mit einer Titelzeile und Spaltenüberschriften versehen sein. Daten werden entweder im Text oder in Tabellen gezeigt, aber nicht in beidem.

Tabelle 2 ist ein Beispiel, wie Tabellen formatiert werden können. Im Text wird dann beschrieben, um welche Daten es sich handelt, und was dabei von Interesse ist.

Tabelle 2: Kenndaten des Stirlingmotors bei einer Heizleistung $P_h = 130 \pm 15$ W in Abhängigkeit von der Frequenz

Frequenz f (Hz)	Drehmoment M (Nm)	Leistung P_m (W)	Wirkungsgrad η (%)
4,10(20)	0,176(17)	4,53(50)	3,49(56)
4,50(20)	0,153(15)	4,33(47)	3,33(53)
5,00(20)	0,117(12)	3,68(41)	2,83(46)
5,40(20)	0,059(10)	2,00(35)	1,54(33)
5,80(20)	0,0252(50)	0,92(19)	0,71(17)

2.5 Abbildungen

Abbildungen werden nummeriert und durch eine Bildunterschrift und eventuell eine Legende kurz erläutert. Wenn nur ein Datensatz und eine dazugehörige Anpasskurve (Fitkurve) dargestellt ist, wird keine Legende angegeben. Im Text muss Bezug auf die Abbildung genommen werden, dort werden die Abbildungen beschrieben (z.B. „In der Beispiel-Abbildung 1 ist das Drehmoment des Motors gegen die Frequenz aufgetragen. Man beobachtet ...“).

Der Verweis auf die Abbildung erfolgt immer mit der Nummer. In wissenschaftlichen Texten gelten Abbildungen (und auch Tabellen) nicht als an den Text gebunden. Ein Verweis z.B. auf „folgende“ Abbildung ergibt dann keinen Sinn mehr.

Die Achsen eines Graphen müssen beschriftet sein (aufgetragene Größe mit Einheit). Zumindest einige Datenpunkte sollen mit Fehlerbalken versehen werden.

Die gezeigten Daten sollen die Fläche eines Graphen ausnutzen. Die Achsen dürfen über den Wertebereich der Daten nicht zu weit hinausgehen. Es ist nicht erforderlich, dass der Ursprung des Koordinatensystems immer

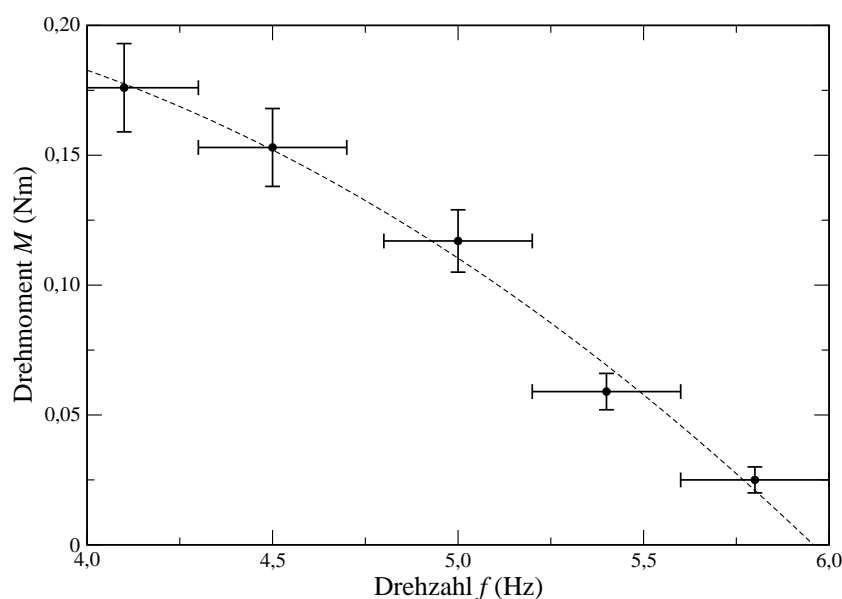


Abbildung 1: Frequenzabhängigkeit des Drehmoments der Stirlingmaschine. Die gestrichelte Linie dient der Augenführung

in der Graphik sichtbar ist.

Diskrete Datenpunkte werden auch deutlich als Punkte dargestellt. Diese werden aber nicht verbunden, da ja im Allgemeinen eine Theoriefunktion eingezeichnet ist. Ausnahmen sind hier möglich, wenn z.B. die Datenpunkte sehr dicht liegen oder es keine Theoriefunktion gibt.

Logarithmische Darstellung

Wird bei der Darstellung eine logarithmische Achsenskalierung verwendet, z.B. weil man ein exponentielles oder logarithmisches Verhalten darstellen will, so verwendet man bei der Skalierung die Basis 10, auch wenn die dargestellte Funktion e^x und nicht 10^x ist. Dies ist übersichtlicher, da man leicht lesbare Zahlen an der Achse bekommt.

Nur wenn der dargestellte Wertebereich keine ganze Größenordnung umfasst ist als Abweichung von der „Basis 10“-Regel auch eine Darstellung zur Basis 2 erlaubt.

Grundsätzlich zu vermeiden ist es, die logarithmierten Werte auf einer linearen Skala aufzutragen. Dies ist schon aufgrund der Einheiten problematisch.

Größen die selber schon logarithmierte Werte sind (z.B. pH-Wert, optische Dichte, ...) dürfen natürlich linear aufgetragen werden.

3 Was muss in die Ausarbeitung?

Auf der ersten Seite Ihrer Ausarbeitung müssen Sie folgende Angaben machen:

- Ihre Namen, die **Kurs-** und die **Teamnummer**, damit die Ausarbeitung eindeutig zuzuordnen ist
- Der Name des Versuchs
- Das Datum der **Durchführung** des Versuchs
Falls es sich um eine verbesserte Version der Ausarbeitung handelt, soll zusätzlich das Datum der Ausarbeitung und eine „Versionsnummer“ angegeben werden.

Ein **Inhaltsverzeichnis** ist zwar nicht zwingend vorgeschrieben, aber es erleichtert (sowohl Ihnen als auch dem Korrektor) zu überprüfen, ob die Ausarbeitung vollständig ist und eine vernünftige Struktur hat. Außerdem soll die Ausarbeitung eine **Seitennummerierung** haben.

Aus dem Abschnitt 1 ergeben sich dann noch die inhaltlichen Anforderungen, dass ein **Grundlagenteil**, eine **Experimentbeschreibung** und natürlich die **Ergebnisse mit Unsicherheiten** enthalten sein müssen. Notwendig ist auch eine **Diskussion der Ergebnisse**.

4 Was gilt es zu vermeiden?

1. Längere Messwerttabellen gehören (wenn überhaupt) nur in einen Anhang.
2. Längere Rechnungen oder Umformungen sollten im Anhang beigelegt werden. Dies gilt auch für eine ausführliche Berechnung der Unsicherheiten.
3. Die Angabe von Ergebnissen mit zu vielen oder zu wenigen Stellen ist nicht nur unschön, sondern falsch. Wert und Unsicherheit müssen die gleiche Genauigkeit haben. Die Angabe der Unsicherheit soll im Praktikum **auf zwei signifikante Stellen** erfolgen. Die Stellenzahl des Wertes richtet sich dann nach

der Unsicherheit. Wert und Unsicherheit werden dabei **immer** in der gleichen Größenordnung und der gleichen Einheit angegeben.

4. Abbildungen und Tabellen ohne Verweis und ohne Beschreibung im Text sind wertlos. Dabei wird **immer** auf die **Nummer** der Abbildung oder Tabelle verwiesen.
5. Offensichtlich falsche Ergebnisse dürfen nicht einfach so stehen gelassen werden. Meistens hilft ein nochmaliges Nachrechnen. Falls der Fehler auch dann nicht aufzufinden ist, muss das Ergebnis mindestens kommentiert werden (s. Diskussion).
6. Formeln mit eingesetzten Werten sind in wissenschaftlichen Arbeiten unüblich und auch in den Ausarbeitungen zu vermeiden. Geben Sie im Text die Werte für die Größen an, die in die Formel eingesetzt werden.

5 Was ist sonst zu beachten?

1. Alle Größen müssen mit Einheiten angegeben werden (es sei denn, sie sind dimensionslos). Nach Möglichkeit sind \rightarrow gesetzliche Einheiten (*externer Link*, *PTB*) zu verwenden (oder die im jeweiligen Fachgebiet übliche Nomenklatur). Die Einheit wird mit einem Leerzeichen von der Zahl abgesetzt und nicht kursiv gesetzt (z.B. 3,0 V statt 3,0V).
2. Es ist üblich, in der Experimentbeschreibung eine personalisierte Formulierung zu vermeiden (Also: „Es wurde gemessen“ statt „Wir haben gemessen“).
3. Für Literaturwerte und sonstige Zitate aus anderen Quellen, müssen die Quellen angegeben werden. Üblicherweise stehen die Quellen in einem Literaturverzeichnis, im Text muss dann auf die entsprechende Literatur verwiesen werden.

6 Beispiele

6.1 Werteangaben

Es sind geeignete „Vorsilben“ (μ , m, k, M, ...) zu verwenden (z.B. 3,0 mm, und nicht 0,0030 m).

Größe und Unsicherheit sind mit der gleichen Genauigkeit, Größenordnung und Einheit anzugeben.

Im Praktikum soll die vereinfachte Regel gelten, dass die Unsicherheit generell auf zwei signifikante Stellen angegeben wird. Die Angabe des Wertes richtet sich dann nach der Unsicherheit.

Wichtig ist immer, dass die Angabe schnell erfasst werden kann (gut lesbar ist). Beispiele für Werteangaben stehen in Tabelle 3

6.2 Abbildungen und logarithmische Darstellung

In diesem Beispiel geht es um das Abklingen einer gedämpften Schwingung. Aufgetragen sind die Maximalamplituden gegen die Zeit. Man erwartet einen exponentiellen Abfall, der in einer halblogarithmischen Darstellung eine Gerade ergeben sollte. In der Tabelle 4 sind drei unterschiedliche Darstellungen der Daten gezeigt, bei b) und c) mit den typischen Fehlern, die in Ausarbeitungen gemacht werden.

6.3 Gleichung mit eingesetzten Werten

In diesem Beispiel soll gezeigt werden, wohin es führen kann, wenn man Werte in Gleichungen einsetzt. Dazu nehmen wir aus dem Versuch Beugung und Brechung (Praktikumsteil 3) die Berechnung des Brechungsindex eines Prismenmaterials aus dem Öffnungswinkel ε des Prismas und dem Winkel minimaler Ablenkung δ . Typische Werte sind hierbei $\varepsilon = 60,00^\circ \pm 0,10^\circ$ und $\delta = 49,00^\circ \pm 0,14^\circ$. Damit ergibt sich ein Brechungsindex von

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta+\varepsilon}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)} = 1,6282 \pm 0,0021.$$

Setzt man nun die Werte (und auch noch mit Unsicherheiten) in die Gleichung ein,

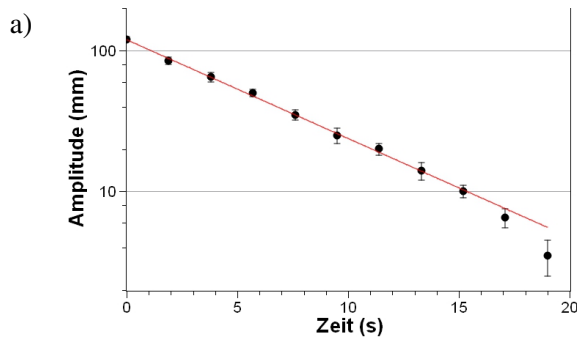
$$n = \frac{\sin\left(\frac{(49,00^\circ \pm 0,14^\circ) + (60,00^\circ \pm 0,10^\circ)}{2}\right)}{\sin\left(\frac{60,00^\circ \pm 0,10^\circ}{2}\right)} = 1,6282 \pm 0,0021,$$

so wird unübersichtlich und ist nicht mehr sinnvoll. \rightarrow **So also nicht!**

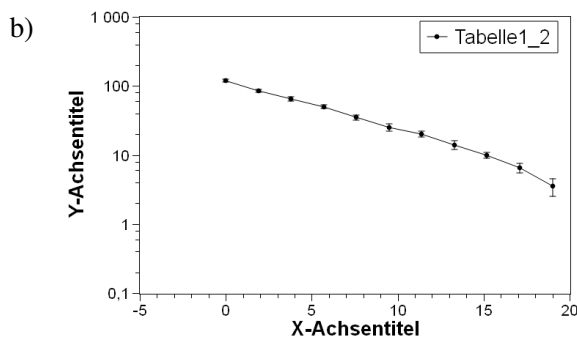
Tabelle 3: Beispiel für die Angabe von Werten

Richtig	Falsch
$(30,00 \pm 0,40)$ cm oder $30,00(40)$ cm	$0,3 \text{ m} \pm 4 \text{ mm}$
$(1,381 \pm 0,015) \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ oder $1,381(15) \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$	$(1,381 \cdot 10^{-23} \pm 1,5 \cdot 10^{-25}) \frac{\text{J}}{\text{K}}$
$523(10)$ nm oder $0,523(10) \mu\text{m}$	$5,32 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ oder $523\text{E-}9 \text{ m}$
$1,42(34) \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}$	$0,00000142(34) \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$

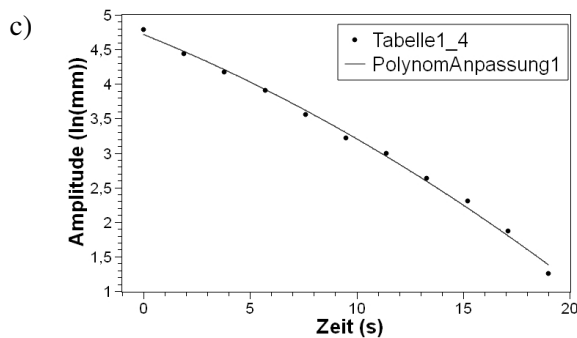
Tabelle 4: Auftragung einer gedämpften Schwingung, und was man dabei alles falsch machen kann.



So könnte die Abbildung aussehen. Die Achsen sind beschriftet, es gibt Fehlerbalken und eine Ausgleichsfunktion. Der Wertebereich ist so, dass die Fläche ausgenutzt ist. Man kann erkennen, dass sich die Kurve „nach unten“ biegt. Dies deutet darauf hin, dass der eigentliche Nullpunkt bei einem leicht negativen Wert lag (Offset).



Bei dieser Abbildung fehlt eine sinnvolle Achsenbeschriftung. Die Punkte wurden einfach verbunden, es gibt keine Theoriefunktion. Der Wertebereich ist so, dass links, oben und unten zu viel freier Platz ist, die Daten sollten die Fläche ausnutzen. Die Legende ist bei nur einem Datensatz überflüssig, zudem sagt sie auch nichts aus.
→ So also nicht!



Bei dieser Abbildung wurden nicht die Daten auf einer logarithmischen Skala aufgetragen, sondern die logarithmierten Daten auf einer linearen Skala. Dadurch wird es schwierig, die Amplitudenwerte abzulesen (wer kann schon $e^{4,5}$ mm im Kopf so schnell rechnen), und die Achsenbeschriftung mit Einheiten richtig zu machen (so ist es zumindest falsch). Es fehlen die Fehlerbalken (diese hätte man dann auch umrechnen müssen). Die Legende ist bei nur einem Datensatz (und einer Ausgleichsfunktion) überflüssig, zudem ist sie nicht aussagekräftig. Eine Polynom-Anpassung an die Daten entspricht nicht dem erwarteten Modell und hat keine Aussagekraft.
→ So also nicht!