

Anleitung zum Verfassen eines Praktikumsberichts

Thomas Ihn

28. November 2016

Zusammenfassung

Dieses Dokument beschreibt die Grundzüge des Vorgehens beim Abfassen eines Berichts für Praktikumsexperimente und Semesterarbeiten an der ETH Zürich. Es werden Hinweise gegeben, welche inhaltlichen Komponenten ein gelungener Bericht enthalten soll und in welchen Gesamtzusammenhang der Bericht zu bringen ist. Diese Anleitung kann auch als Leitfaden für das Verfassen wissenschaftlicher Publikationen, Masterarbeiten und Doktorarbeiten dienen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Vorgehensweise beim Abfassen eines Berichts	2
3	Die inhaltlichen Komponenten eines Berichts	2
3.1	Abstract	3
3.2	Einführung	4
3.3	Die Messmethode und der experimentelle Aufbau	4
3.4	Die Messergebnisse	4
3.5	Die Auswertung und Diskussion der Messergebnisse	5
3.5.1	Die Analyse der Daten	6
3.5.2	Genauigkeit der bestimmten Parameter	6
3.5.3	Vergleich mit Literaturwerten	7
3.6	Zusammenfassung und Ausblick	8
4	Zusammenfassung	8

1 Einführung

Das Abfassen des Berichts ist der letzte Schritt zu einem erfolgreichen Praktikumsexperiment. Bevor Sie mit dem Schreiben beginnen haben Sie alle Messungen beendet, die Daten ausgewertet, die Fehlerabschätzung gemacht, sowie ggf. die zusätzlichen Fragen der Versuchsanleitung beantwortet. Erst dann haben Sie alle Informationen, die Sie für das Schreiben des Berichts benötigen.

Im wissenschaftlichen Alltag ist das Verfassen einer wissenschaftlichen Publikation das Äquivalent zum Abfassen des Praktikumsberichts. Wissenschaftliche Publikationen werden von den Autoren bei einem Editor eines geeigneten Journals eingereicht. Der Editor gibt das Manuskript dann an einen anonymen Gutachter weiter ('referee', das ist irgendein anderer Wissenschaftler, der unabhängig von den Autoren ist, manchmal sind es mehrere). Im Praktikum ist der Betreuer ihres Experiment ihr 'referee'. Der 'referee' liest das Manuskript kritisch, macht Verbesserungsvorschläge und gibt schliesslich eine Empfehlung ab, ob (und nach welchen Änderungen) das Manuskript veröffentlicht werden kann. Die Autoren erhalten diese Vorschläge vom Editor und verbessern ihr Manuskript entsprechend. Dann

reichen sie es erneut ein. Ebenso wird ihnen der Betreuer ihres Experiments ihren Bericht mit kritischen Bemerkungen zurückgeben, die Sie in ihren Bericht einarbeiten müssen. Die Praktikumsleitung spielt dann die Rolle des Editors und akzeptiert den verbesserten Bericht endgültig.

Das Schreiben eines wissenschaftlichen Berichts oder einer Publikation ist ein kommunikativer Prozess. Mit dem Bericht sollen die eigenen Erfahrungen, Experimente, Ergebnisse und Schlussfolgerungen anderen so mitgeteilt werden, dass diese den Erkenntnisprozess nachvollziehen können, den man selbst durchlaufen hat. Das sollten Sie im Kopf behalten, wenn Sie, alleine am Schreibtisch sitzend, den Bericht verfassen. Achten Sie dabei auf einen lebendigen interessanten Schreibstil, der es dem Leser leicht macht Ihren Bericht mit Interesse von der ersten zur letzten Zeile zu lesen. Sehr gute Hinweise für Berichte, die auf Englisch verfasst sind, finden Sie in Ref. [1].

An dieser Stelle können wir keine Einführung in das Textverarbeitungssystem LaTeX geben. Wenn Ihnen die Beispiele in diesem Dokument nicht ausreichen, konsultieren Sie die zahlreichen Dokumente, die auf dem Web einsehbar sind [2], oder das Buch von Leslie Lamport [3].

2 Vorgehensweise beim Abfassen eines Berichts

Beim Abfassen von wissenschaftlichen Publikationen und Berichten hat sich folgende Vorgehensweise bewährt und wird daher dringend empfohlen:

1. Zuerst überlegen Sie sich, welche physikalischen Aussagen Sie machen wollen.
2. Danach wählen Sie die Bilder, Messdaten, Graphen, etc. aus, die im Bericht dargestellt werden müssen, um Ihre Messungen zu belegen und die Aussagen zu bestätigen.
3. Sie erstellen eine erste inhaltliche Grobgliederung.
4. Sie erstellen die Bilder auf dem Computer, am besten im eps- oder im pdf-Format.
5. Dann legen Sie eine geeignete Reihenfolge für die Bilder fest.
6. Schliesslich erstellen Sie eine detailliertere inhaltliche Gliederung (Inhaltsverzeichnis). Damit haben Sie den *roten Faden* Ihres Berichts festgelegt und die konzeptionelle Arbeit beendet. Hinweis: ersetzen Sie, wenn immer möglich ‘Standardüberschriften’ (z.B. Einführung, Experimenteller Aufbau, Messungen, Diskussion, etc.) durch Überschriften, die bereits auf den Inhalt schliessen lassen (z.B. Eichung des Spektrometers, oder Lineare Regression zur Bestimmung der piezoelektrischen Konstanten).
7. Anschliessend arbeiten Sie Ihren Bericht im Detail aus, indem Sie die einzelnen Abschnitte mit Text füllen. Lassen Sie sich hier von der Grundregel *So viel wie nötig, so wenig wie möglich* leiten. Beginnen Sie dabei mit der Messmethode und dem experimentellen Aufbau (3.3). Beschreiben Sie dann die Messergebnisse (3.4), anschliessend die Datenanalyse und Diskussion (3.5).
8. Erst dann wenden Sie sich der Einleitung (3.2) und der Zusammenfassung (3.6) zu.
9. Im letzten Schritt verfassen Sie die Zusammenfassung (Abstract, 3.1).
10. Sie holen das Feedback eines Kollegen, ihres Betreuers, eines Referees zum Bericht ein.
11. Sie überarbeiten und verbessern den Bericht entsprechend dem Feedback.

3 Die inhaltlichen Komponenten eines Berichts

Nachfolgend werden die inhaltlichen Komponenten eines Berichts einzeln diskutiert. Dies sind die Zusammenfassung (Abstract), die Einführung, die Messmethode und der experimentelle Aufbau, die Messergebnisse, die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse, und die Zusammenfassung. Diese Teile

entsprechen im Wesentlichen bereits den Komponenten einer wissenschaftlichen Publikation, aber auch einer Semesterarbeit, Masterarbeit, oder Doktorarbeit. Die Beschreibung der Komponenten beinhaltet auch formale Aspekte, die beim Schreiben zu beachten sind. Eine sehr ausführliche Beschreibung dieser formalen Aspekte findet man in [4].

Verwenden Sie im gesamten Bericht eher kurze, einfach verständliche Sätze. Formulieren Sie prägnant, nicht ausschweifend. Verwenden Sie Fachausdrücke in angemessener Häufigkeit, vermeiden Sie Jargon und Abkürzungen.

Als Faustregel, gehen Sie in jedem Abschnitt, den Sie schreiben, in drei Schritten vor:

1. Sagen Sie dem Leser, was Sie sagen werden.
2. Sagen Sie es.
3. Sagen Sie, was Sie gesagt haben.

Diese Regel gilt in zunehmendem Masse auf allen Ebenen des Berichts: wenn möglich schon auf der Ebene der einzelnen Absätze, stärker jedoch auf der Ebene einzelner Abschnitte, sicher auf der Ebene einzelner Kapitel (bei Semester-, Master- und Doktorarbeiten) und zwingend auf der Ebene des gesamten Werkes. Überprüfen Sie Ihren Text mit folgendem Test: bleibt der 'Rote Faden' Ihres Berichts erhalten, wenn Sie (1) nur den ersten Satz eines jeden Absatzes lesen, (2) nur den ersten Absatz eines jeden Abschnitts lesen, (3) nur den ersten Abschnitt eines jeden Kapitels lesen? Dennoch soll dabei die Lesbarkeit des Berichts nicht durch viele Wiederholungen beeinträchtigt werden. Das wird erreicht, indem die ersten und letzten Sätze von Abschnitten die logische und Inhaltliche Verbindung zwischen den Abschnitten herstellen.

3.1 Abstract

Inhaltliches: Das Abstract ist selbsterklärend abzufassen. Es ist eine kurze Zusammenfassung der Schlüsselergebnisse und Qualitäten des Experiments. Das Abstract ist keine Inhaltsangabe. Machen Sie prägnante Aussagen zu einigen der folgenden Fragen:

- Was wurde gemacht?
- Warum wurde es gemacht?
- Was ist das Ergebnis?
- Welche Bedeutung haben die Ergebnisse?
- Wovon profitiert der Leser?
- Wie kann der Leser den Inhalt für sich selbst nutzen?

Formales: Jeder Bericht beginnt mit einem Abstract. Das Abstract enthält keine nummerierten externen Referenzen; falls erforderlich muss eine solche Referenz komplett im Abstract angegeben werden [A.B. Cork, Phys. Rev. B **27**, 123321 (1963)]. Das Abstract enthält weder Formeln, noch Tabellen.

Umfang: Das Abstract besteht aus einem einzigen Paragraphen von ca. 6-8 Zeilen.

3.2 Einführung

Inhaltliches: In der Einführung Ihres Berichts wird beschrieben, wie sich das Experiment in den allgemeineren physikalischen Kontext einordnet. Warum ist (war) dieses Experiment wichtig? In welchem allgemeinen Zusammenhang stehen die zu erwartenden Ergebnisse, und warum sind diese interessant? Dies bildet den ersten Abschnitt der Einleitung.

Darüberhinaus beschreiben Sie in Kurzform, worin die offenen Fragen bestehen, die das Experiment beantworten soll und warum gerade der gewählte Versuchsaufbau (oder die verwendete Methode) dafür geeignet ist. Hier werden auch theoretische Aspekte kurz umrissen. Dies bildet den zweiten Abschnitt der Einleitung.

Im dritten Abschnitt der Einleitung geben Sie einen kurzen Überblick, was im Bericht noch folgen wird. Sie umreißen den Umfang der Ergebnisse in einer geeigneten einfachen und sehr kompakten Form, in Ergänzung zum Abstract, ohne das Resultat vorwegzunehmen. Das eigentliche Resultat in Form von Zahlen geben Sie allerdings nicht in der Einleitung an.

Halten Sie sich nicht damit auf, in der Einleitung seitenweise die zum Experiment gehörende Theorie zu referieren. Im Praktikumsbericht kommt es auf das Experiment und seine Auswertung an!

Formales: Die Einleitung sollte für Leser, die keine Spezialisten für das beschriebene Experiment sind, gut verständlich sein.

Umfang: Insgesamt sollte die Einleitung in etwa eine Seite des Berichts beanspruchen.

3.3 Die Messmethode und der experimentelle Aufbau

Inhaltliches: In diesem Abschnitt beschreiben Sie den experimentellen Aufbau so, dass er für eine Person, die den Versuch nicht selbst durchgeführt hat, nachvollziehbar ist. Meist hilft eine Prinzipskizze den Aufbau klar darzustellen. Falls Sie Messungen an speziellen Proben machen, so gehört deren Beschreibung auch in diesen Abschnitt.

Vermeiden Sie es, Bilder zum Aufbau aus der Anleitung zum Versuch zu kopieren. In solch einem Fall genügt eine Referenz auf die Versuchsanleitung. Oft bewähren sich heutzutage selbst gemachte Fotos, auf denen ihr persönlicher Versuchsaufbau gut zu erkennen ist. Wichtig ist dann aber, dass Sie solche Fotos entsprechend beschriften, damit ein Leser versteht, was abgebildet ist. Entscheidend für diesen Teil Berichts ist es, dass der Leser *ihre Eigenleistung* nachvollziehen kann; allgemeine Beschreibungen, wie ‘man’ den Versuch macht, sind hier wenig hilfreich.

Formales: Der erste Satz nach einer Überschrift sollte nicht den Inhalt der Überschrift wiederholen. Beginnen Sie also nicht so: In diesem Abschnitt beschreibe ich den experimentellen Aufbau. Vermeiden Sie die ich-Form im gesamten Bericht. In englischen Berichten verwenden Sie stattdessen ‘we’. Zum Beispiel: ‘We measured the current using an ammeter.’ Im Deutschen wird eher das Passiv verwendet. Zum Beispiel: statt ‘ich habe gemessen’, besser ‘es wurde gemessen’.

Umfang: Die Beschreibung muss der Forderung der Wiederholbarkeit des Experiments gerecht werden. Trotzdem sollte der Umfang dieses Abschnitts nicht die Versuchsanleitung ersetzen.

3.4 Die Messergebnisse

Die Messergebnisse, sowie ihre Auswertung und Diskussion (siehe 3.5) stellen das Herzstück einer experimentellen Arbeit dar.

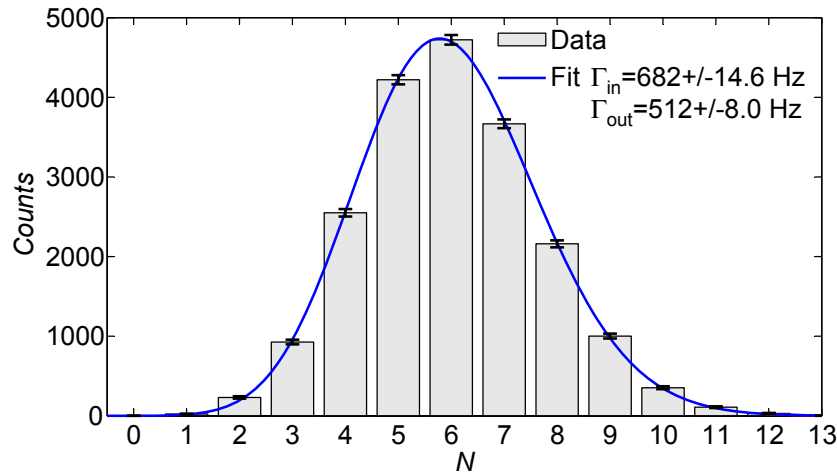


Abbildung 1: Häufigkeit (Counts) einer bestimmten Anzahl N von Ereignissen innerhalb eines Messintervalls. Die durchgezogene Linie ist ein Fit, der nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführt wurde.

Inhaltliches: Für die Darstellung Ihrer Messergebnisse wählen Sie, je nach Experiment, eine geeignete und übersichtliche Form. Das können Tabellen mit Werten sein, aber auch Messkurven in graphischer Form, oder Histogramme. Im Text nehmen Sie auf jedes dargestellte Bild Bezug. Sie beschreiben zunächst, was man sieht. Dabei machen Sie den Leser bereits auf die wichtigen Eigenschaften der Daten aufmerksam, auf die es später ankommt. Mischen Sie diese Beschreibung nicht bereits mit der Auswertung oder der Interpretation der Daten.

Messdaten dürfen nicht einfach unkommentiert in den Text eingebunden werden. Die graphischen Darstellungen der Daten sollen die ‘Geschichte’ illustrieren, die im Text erzählt wird. Oft fällt Studierenden bei den ersten Berichten die Beschreibung der gemessenen Daten besonders schwer. Verwenden Sie daher besondere Sorgfalt darauf.

Wenn Sie eine grosse Zahl von Messdaten haben, die alle mehr oder weniger ähnlich aussehen, können Sie sich darauf beschränken exemplarisch an einem Satz Daten die Ergebnisse und die Analyse zu beschreiben. Die anderen Daten können Sie in einem Appendix zusammen darstellen, auf den Sie im Haupttext verweisen.

Zur Darstellung der Messergebnisse gehört es auch zu beschreiben, wie Sie Messungenauigkeiten während des Experiments bestimmt oder abgeschätzt haben. Nachvollziehbarkeit und genaue Beschreibung ist hier oberstes Gebot. Nur so können Sie beim Leser für Vertrauen in Ihre Daten werben.

Formales: Beachten Sie dabei, dass die Achsen von Diagrammen gut lesbar beschriftet sind (Messgrößen mit den entsprechenden Einheiten). Abbildung 1 zeigt als Beispiel ein Histogramm. Jede Abbildung besitzt eine Bildunterschrift (caption), die kurz erklärt, was im Bild dargestellt ist. Falls eine Abbildung aus mehreren Figuren besteht, nummerieren Sie diese mit a), b) etc., und nehmen Bezug darauf in der Caption und dem Text.

Umfang: Die Messergebnisse tragen in der Regel einen grossen Teil zum Gesamtumfang des Berichtes bei.

3.5 Die Auswertung und Diskussion der Messergebnisse

Umfang: Der Umfang dieses Abschnitts hängt vom Experiment ab. Als Faustregel gilt hier: so lang wie nötig, so kurz wie möglich.

3.5.1 Die Analyse der Daten

Inhaltliches: Beschreiben Sie die Auswertung und Analyse ihrer Daten genau. Auch dieser Schritt muss für den Leser nachvollziehbar sein. Geben Sie relevante Formeln an:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Wenn Sie Daten mit einer Software fitten, dann geben Sie die Software an, sowie die genaue Routine, die Sie innerhalb der Software verwendet haben. Beschreiben Sie auch inhaltlich, wie, d.h. mit welcher Methode, diese Software ihre Daten fittet. Wenn Sie Python, oder eine andere Programmiersprache verwenden, um selbst eine Datenanalyse zu programmieren, dann geben Sie den Code in einem Appendix zum Bericht an.

Formales: Wenn Sie auf eine Formel mehrmals im Text Bezug nehmen wollen, dann wird sie nummeriert, z.B.,

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

Später im Text beziehen Sie sich dann auf die Gleichung (1).

Die in Gleichungen verwendeten Symbole (Variablen) müssen im Text eingeführt werden. Ausgenommen davon sind elementare physikalische Konstanten, wie etwa \hbar , e , oder k_B . Hier ein Beispiel: die Grösse L in Gleichung (1) bezeichnet die Induktivität, C die Kapazität des Schwingkreises.

Die in mathematischen Ausdrücken verwendeten Variablen sind kursiv gesetzt, ebenso Naturkonstanten, nicht jedoch Zahlen und feststehende mathematische Ausdrücke ($2x^2 \sin x$). Tief- und Hochgestellte Indizes sind nur dann kursiv, wenn sie Variablen darstellen. Beispiele sind σ_x , σ_y , σ_z , oder x_i , allerdings C_{tot} , oder k_B (denn hier steht ‘tot’ für ‘total’ und ‘B’ für ‘Boltzmann’).

Es gehört zum guten Stil, dass Sätze nicht mit Symbolen beginnen. Hier ein Beispiel:

- Schlechter Stil:
 ω beschreibt die Resonanzfrequenz des Schwingkreises.

- Guter Stil:
Die Grösse ω beschreibt die Resonanzfrequenz des Schwingkreises.

Achten Sie bitte auch darauf, dass Symbole im gesamten Bericht konsistent verwendet werden (sowohl im Text, als auch in den Bildern und Tabellen).

Formeln sind oft Teile eines Satzes. Wenn der Satz mit der Formel endet, dann wird ein Satzpunkt gesetzt. Hier ein Beispiel: aus Gleichung (1) erhalten wir die gemessene Frequenz

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

3.5.2 Genauigkeit der bestimmten Parameter

Inhaltliches: Die Angabe eines Messergebnisses ohne Abschätzung der Genauigkeit macht keinen Sinn. Nutzen Sie das Praktikum, um sich in der Verwendung der elementaren Gesetze der Wahrscheinlichkeitstheorie zu üben, die uns erlauben logische Schlussfolgerungen aus Messungen zu ziehen [5, 6]. Kontrollieren Sie ihre Ergebnisse immer mit dem ‘gesunden Menschenverstand’. Die Experimentalphysik kennt die ‘Null’ als Messergebnis nicht. Gerade hier ist die Angabe des Messfehlers von entscheidender Bedeutung.

Formales: Geben Sie Ergebnisse in Form von Zahlen an, so gehört die physikalische Einheit immer dazu. Zum Beispiel, die gemessene Erdbeschleunigung ist $9.78 \pm 0.05 \text{ m/s}^2$. Zwischen der Zahl und der Einheit ist ein Abstand. Einheiten werden stets aufrecht gesetzt. Hier einige Beispiele:

- falsch: 12mm, 12mm, 12 mm, 12 mm, etc.
- richtig: 12 mm

3.5.3 Vergleich mit Literaturwerten

Inhaltliches: Setzen Sie, wenn möglich, ihre Messergebnisse in Beziehung zu den Ergebnissen anderer Autoren, Literaturwerten von bestimmten Grössen, etc. Diskutieren Sie ggf. auch Gründe für Abweichungen Ihrer Ergebnisse von den Erwartungen. Zitieren Sie die verwendete Literatur [7]. Machen Sie sich auf jeden Fall mit dem Dokument der Praktikumsleitung zum Thema *Plagiate und richtiges Zitieren* vertraut [8].

Formales: So zitieren Sie ...

- eine Veröffentlichung in einem wissenschaftlichen Journal:
Y. Aharonov and D. Bohm, *Phys. Rev.* **115**, 485 (1959).
- ein Buch:
R.P. Feynman, R.B. Leighton and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison Wesley, Reading MA, 1977), Vol. 2, p. 24.
- eine Konferenzveröffentlichung:
J.M. Smith, in *Proceedings of the International Conference on Low Temperature Physics, Madison, 1963*, edited by C. Brown (University of Wisconsin, Madison, 1958), p. 201.
- eine Doktorarbeit:
V. Senz, Ph.D. thesis, ETH Zurich Nummer 123456, 2002.
- eine Masterarbeit:
J.M. Smith, Master thesis, ETH Zurich Nummer 98765, 2008.
- einen online Artikel aus einem open-access eprint Archiv:
M.P. Das und F. Green, *Mesoscopic Transport Revisited*, arXiv:0904.0476 (2009).
- eine Quelle im Internet:
National Institute of Standards and Technology (NIST), *The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty* [Online], 6 April 2009, <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html?/codata86>.
- ein Bild aus dem Internet:
Ferdinand Schmutzer, *Albert Einstein während einer Vorlesung in Wien 1921*, [Online image] 6 April 2009,
<http://www.bhm.ch/downloads/12Einstein1921.jpg>.

Die Regeln für die Auflistung von Autoren sind die folgenden: bei zwei Autoren W. Busch and K. Grimm zitiert man “W. Busch and K.L. Grimm”, bei drei “W. Busch, K.L. Grimm and C. Dickens”, und bei mehr als dreien “W. Busch *et al.*”. Zwischen Initialen und Nachnamen steht stets ein kleiner Abstand, “Tilde” in Latex, damit sie bei Zeilenumbruch nicht getrennt werden.

3.6 Zusammenfassung und Ausblick

Inhaltliches: Fassen Sie zum Schluss Ihre Ergebnisse noch einmal kurz zusammen. Der Leser kennt jetzt alle technischen Details und Ergebnisse: wiederholen Sie daher nicht die Einleitung oder das Abstract, sondern bieten Sie Tieferegehendes. Verknüpfen Sie die angegebenen Ziele mit Ihrer Messung und den Resultaten. Geben Sie, wenn möglich, einen Ausblick, welche anderen Messungen möglich oder nötig gewesen wären, oder warum das Experiment wichtig oder interessant war.

Umfang: Dieser Abschnitt des Berichts ist kurz, typischerweise eine halbe Seite.

4 Zusammenfassung

In diesem Dokument haben Sie viele Informationen, Regeln, Hinweise, etc. gelesen, die zu beachten Sie aufgefordert sind. Dies wird Ihnen nicht bereits beim ersten Mal perfekt gelingen. Lassen Sie sich aber nicht entmutigen, sondern arbeiten Sie an Ihrer Fähigkeit, wissenschaftliche Ergebnisse zu kommunizieren und Ihre Leser zu umwerben. Auch hier gilt, wie so oft: *Übung macht den Meister*.

Literatur

- [1] Karie Friedman, *Writing a better scientific article*, Appendix A of the *Review of Modern Physics Style Guide* [Online], 28 Nov 2016, <http://journals.aps.org/files/rmpguapa.pdf>.
- [2] see for example: T. Roberts, School of Mathematical Sciences, University of Adelaide, South Australia, *LaTeX: from quick and dirty to style and finesse* [Online], 23 June 2009, <http://www.maths.adelaide.edu.au/anthony.roberts/LaTeX/index.html>.
- [3] L. Lamport, *LaTeX: A Document Preparation System*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1986.
- [4] American Physical Society, A. Waldron, P. Judd and V. Miller, eds., *Physical Review Style and Notation guide* [Online], 23 June 2009, <http://forms.aps.org/author/styleguide.pdf>.
- [5] D.S. Sivia and J. Skilling, *Data Analysis: A Bayesian Tutorial*, 2nd edition Oxford University Press, 2006.
- [6] R.J. Barlow, *Statistics, A Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences*, J. Wiley and Sons, 1989.
- [7] A.B. Cork, Phys. Rev. B **22**, 123321 (1963).
- [8] T. Ihn und C. Grab, *Plagiate und richtiges Zitieren* [Online] 7 April 2009, <http://www.phys.ethz.ch/phys/students/bachelor/vp/ordnung/Plagiate.pdf>.