



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

NAT

FAKULTÄT FÜR
NATURWISSENSCHAFTEN

Physikalisches Grundpraktikum 1

Praktikumsordnung

Stand: 04.11.2025

Inhalt:

1	Praktikumsablauf	2
2	Protokollführung	5
3	Verhalten im Praktikum, Arbeits- und Brandschutz	9
4	Literaturhinweise	12
5	Bestimmung der Messunsicherheit	13
6	Eich- und Verkehrsfehlergrenzen von Messgeräten und Maßverkörperungen	15

1. Praktikumsablauf

1.1 Zulassungsvoraussetzung, Versuchsgruppen

Aufgrund der Vermittlung praktischer Fertigkeiten besteht für das Praktikum eine Anwesenheitspflicht. Voraussetzung für die Zulassung zum Praktikum ist die Teilnahme an einer **Einführungsveranstaltung** mit Arbeitsschutzbelehrung am ersten Praktikumstag, die durch Unterschrift zu bestätigen ist.

Das Praktikum beginnt pünktlich zu den festgelegten Zeiten. 15 Minuten nach Beginn des Praktikums kann kein Versuch mehr begonnen werden.

Die Praktikanten arbeiten in **Zweiergruppen**, erforderlichenfalls allein; Versuchsgruppen aus mehr als 2 Studenten sind nicht zulässig. Die Art der Protokollführung (durch jeden Studenten oder versuchsgruppenweise) wird durch den Praktikumsbetreuer festgelegt. Bei Führung gemeinsamer Protokolle sind diese durch beide Versuchspartner **abwechselnd** zu erarbeiten.

1.2 Versuchszahl, Nachholung von Versuchen

1.2.1 Studiengang Physik-Bachelor (PH;B)

Pro Semester (Teilmodul) müssen 10 Versuche absolviert werden. Im ersten Teilmodul besteht die Möglichkeit nach Absprache mit der Praktikumsleitung maximal 4 Versuche als Blockpraktikum in der vorlesungsfreien Zeit zu absolvieren.

Die Modulnote ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der 10 besten Einzelnoten aus dem zweiten Teilmodul.

1.2.2 Alle anderen Studiengänge

Die Anzahl der für die Erteilung des Abschluss-Testats erforderlichen Pflichtversuche pro Semester ergibt sich aus der um „1“ verminderten Anzahl der Praktikumstage der Versuchsgruppe. Versäumte oder nicht anerkannte Versuche müssen nachgeholt bzw. durch Versuche des gleichen Stoffgebiets ersetzt werden.

1.2.3 Alle Studiengänge

Die Nachholung einzelner Versuche ist am letzten, für Testate vorgesehenen Praktikumstag sowie nach vorheriger Absprache während der regulären Praktikumszeiten anderer Gruppen möglich, falls der Versuch nicht belegt ist. Außerhalb dieser Zeiten können keine Versuche durchgeführt werden; erforderlichenfalls ist das nachfolgende Semester zu nutzen.

Fehlt ein Praktikant mehrmals nacheinander unentschuldig, wird über den Praktikumsplatz anderweitig verfügt.

1.3 Versuchsvorbereitung

Der am folgenden Praktikumstag durchzuführende Versuch ist während der Praktikumszeit der Gruppenliste zu entnehmen bzw. vom Betreuer zu erfragen.

Jeder Student hat sich, ausgehend von den Hinweisen in den Versuchsanleitungen, gründlich auf den Versuch vorzubereiten. Das selbständige Studium der einschlägigen Lehr- und Praktikumsbücher (siehe Abschnitt 4) ist Bestandteil des Praktikums. Die Versuchsvorbereitung umfasst insbesondere die

- Erarbeitung der physikalischen Grundlagen,
- schriftliche Ausarbeitung der Protokollteile 1 bis 3 (siehe Abschnitt 2) und die
- gründliche Versuchsplanung (Gang der Messung, Tabellen-, Diagrammgestaltung).

Sie wird zu Beginn des Praktikums mündlich überprüft (**Antestat**). Bei ungenügenden Kenntnissen erfolgt keine Zulassung zum Versuch (Bewertung mit der Note 5).

1.4 Erlaubte Hilfsmittel

Für die Versuchsvorbereitung, sowie die Auswertung sind folgende Hilfsmittel zulässig:

- Praktikums- und Lehrbücher, insbesondere solche, die im Punkt 4 aufgeführt sind
- Vorlesungsmaterialien
- Internetrecherche (außer die Nutzung von KIs wie ChatGPT)
- Computer mit Programmen zur Datenauswertung, wissenschaftlicher Taschenrechner

Die Nutzung von KIs wie ChatGPT ist ausdrücklich untersagt und gilt als Betrugsversuch. Bei wiederholtem Betrug werden alle Praktikumsversuche (Testate) des Semesters aberkannt.

1.5 Zum Praktikum sind mitzubringen:

Protokollheft	wissenschaftlicher Taschenrechner
Testatkarte	30 cm-Lineal
Schreibgeräte und Papier	ggf. Laptop

1.6 Versuchsinventar

Vor Beginn der Experimente ist der Versuchsplatz auf Vollständigkeit der im ausliegenden Inventarverzeichnis angegebenen Geräte zu überprüfen. Versuchszubehör und Kleingeräte (Stoppuhren, Schraubenmikrometer, Proben u. ä.) sind vom Praktikumsbetreuer in Empfang zu nehmen und nach Abschluss der Messungen wieder zurückzugeben.

Fehlen oder Defekte von Versuchszubehör sind dem Praktikumsbetreuer zu melden. Erfolgt keine Meldung, wird dies als vollzählige Übernahme gewertet. Das Inventar ist am Ende des Praktikums vollzählig und in sauberem Zustand vorzuweisen, Gefäße sind zu entleeren, der Arbeitsplatz ist aufzuräumen.

Von anderen Versuchsplätzen dürfen Geräte nur nach Aufforderung durch den Betreuer entnommen werden; sie sind nach Abschluss der Messungen zurückzubringen.

1.7 Versuchsaufbau

Die Versuchsgruppen beginnen selbständig mit dem Aufbau der Messanordnung. Elektrische Schaltungen sind übersichtlich unter Verwendung möglichst kurzer Messleitungen aufzubauen. Sie sind vor Inbetriebnahme **vom Betreuer abnehmen** zu lassen. Vor jedem Umbau ist die Speisespannung abzuschalten.

1.8 Messwerterfassung und Auswertung

Die Hinweise in den Versuchsanleitungen, im Abschnitt 4 dieser Praktikumsordnung und in den am Arbeitsplatz ausliegenden Bedienungsanleitungen sind vor Versuchsbeginn gründlich zu studieren und sorgfältig zu beachten. Die Messergebnisse sind in **tabellarischer Form** einschließlich der Messabweichungen (systematische Abweichungen, Ableseunsicherheiten) und aller Nebenrechnungen **sofort mit Kugelschreiber im Protokollbuch dokumentarisch festzuhalten. Zettelprotokolle und Bleistift-Aufzeichnungen sind nicht zulässig!**

Elektrische Messgeräte, Lampen, Heizplatten und andere Geräte sind nach Abschluss der Messungen umgehend abzuschalten.

Zur Auswertung der Messungen und Berechnung der im Versuch geforderten Größen können die angebotenen Computerprogramme (siehe 3) und die Statistik- und Regressionsprogramme von Taschenrechnern genutzt werden.

1.9 Vortestat

Das Vortestat (Abzeichnung des Protokolls durch den Praktikumsbetreuer mit Datum) bestätigt die erfolgreiche Durchführung des Versuchs. Es wird erteilt, wenn

- der Arbeitsplatz in einen ordentlichen Zustand versetzt wurde (Schaltungen abgebaut, Gefäße entleert und gesäubert, Kleingeräte zurückgebracht) und
- die geforderten Messergebnisse sowie deren Messabweichungen vollzählig und übersichtlich im Protokollheft erfasst sind (keine Bleistift-Aufzeichnungen!) und die wesentlichen Ergebnisgrößen berechnet wurden. Deren Messunsicherheiten können in häuslicher Nacharbeit ermittelt werden.

Vortestate verlieren nach 2 Praktikumstagen ihre Gültigkeit.

Wurde innerhalb dieser Fristen kein Abtestat (siehe 1.9) erteilt, ist dieser oder ein anderer Versuch des gleichen Stoffgebietes komplett zu wiederholen. Bei Verfall mehrerer Vortestate kann die weitere Teilnahme am Praktikum des laufenden Semesters ausgesetzt werden, bis in Kolloquien der Nachweis über ausreichende Kenntnisse zur erfolgreichen Durchführung und Auswertung von Praktikumsversuchen erbracht wurde.

1.10 Kolloquium (Abtestat), Bewertung

Kolloquien bzw. Abtestate finden in der Regel zu jedem Versuch einzeln (Dauer ca. 20 min) am darauffolgenden Praktikumstag statt. Sie können benotet werden. Ein gemeinsames Testat für mehrere Versuche ist möglich. Die Verfahrensweise legt der Praktikumsbetreuer zu Semesterbeginn fest. Im Kolloquium hat der Student die Versuchsergebnisse einschließlich der Messunsicherheiten zu verteidigen und seine Kenntnisse über die physikalischen und experimentellen Grundlagen des Versuchs nachzuweisen. Voraussetzungen für die Erteilung des Abtestats sind insbesondere

- Vollständigkeit und Richtigkeit der geforderten Ergebnisse;
- Nachvollziehbarkeit der Auswertung;
- Übersichtlichkeit der Darstellung der Ergebnisse (Tabellen-, Diagrammgestaltung);
- Kenntnisse von Grundlagen und Ablauf des Versuchs und seiner Auswertung.

Erfolgreiche Abtestate werden in der **Testatkarte** bestätigt, die als Praktikumsbeleg sorgfältig aufzubewahren ist. Erteilte Noten werden eingetragen, sie liefern gemeinsam mit Leistungsbewertungen beim Antestat und bei der Versuchsdurchführung die Gesamtnote des Praktikums. Kann das Testat wegen erheblicher Mängel der Versuchsauswertung, des Protokolls oder der Kenntnisse nicht erteilt werden (Note 5), darf es am folgenden Praktikumstag **einmal wiederholt** werden. Ist auch das Wiederholungs-Testat nicht erfolgreich, wird der Versuch endgültig nicht anerkannt.

1.11 Versuche werden nicht anerkannt, wenn

- wegen ungenügender Vorkenntnisse keine Zulassung zum Versuch erfolgt,
- Messungen oder Protokoll unvollständig oder nicht nachvollziehbar sind,
- Messergebnisse fingiert sind oder abgeschrieben wurden,
- fremde Protokollteile benutzt wurden,
- kein Vortestat erteilt wurde (fehlende Abzeichnung durch den Praktikumsbetreuer) oder
- die Leistung im Kolloquium den Anforderungen nicht genügt (kein Abtestat erteilt, siehe 1.9).

Nicht anerkannte Versuche sind nachzuholen bzw. durch Versuche des gleichen Stoffgebietes zu ersetzen. Die Festlegung trifft der Praktikumsbetreuer. Bei wiederholtem Betrug werden alle Praktikumsversuche (Testate) dieses Semesters aberkannt.

2. Protokollführung

Zur Protokollführung ist ein gebundenes **Protokollheft** (kariert) im DIN A4-Format mit mindestens 100 (40 bei einsemestrigen Praktika) Blättern zu benutzen; Rechnerausdrucke und Graphiken sind einzukleben. Protokollführung auf stabil gehefteten losen Blättern ist nur zulässig, wenn sämtliche Protokolle vollständig (einschließlich Grundlagen, Berechnungen und graphischen Darstellungen) in einheitlicher Form mit durchnummerierten Seiten auf dem Rechner erstellt und ausgedruckt werden.

Auf dem Einband des Protokollheftes sind die Namen der Versuchspartner zu vermerken; die Seiten sind durchgehend zu nummerieren. Auf der ersten Seite wird ein vom Studenten auszufüllendes Inhaltsverzeichnis mit folgendem Kopf angelegt:

Versuchsnummer	Bezeichnung des Versuchs	Seite	Datum der Durchführung	Signum
M 8	Pendelschwingungen	10	02.10.2023	

Die Protokollführung beginnt auf Seite 3 des Protokollheftes. Mit jedem neuen Versuch ist eine neue Seite zu beginnen. Die Protokolle sind **verbindlich** in folgender Weise zu gliedern:

Nummer	Titel des Versuchs	Datum der Durchführung
--------	--------------------	------------------------

1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist der Versuchsanleitung wörtlich zu entnehmen.

2 Grundlagen zum Versuch

In knapper Form, jedoch vollständigen Sätzen sind die physikalischen Grundlagen des Versuchs, das Messverfahren und **sämtliche zur Auswertung erforderlichen Gleichungen** darzustellen bzw. abzuleiten. Die verwendeten Größensymbole müssen den internationalen Empfehlungen entsprechen und erklärt werden. Formeln sind durchgehend zu nummerieren.

z.B.
$$T_{\text{kor}} = \frac{T}{1 + \frac{\varphi^2}{16}} \quad (1)$$

Kopien aus Büchern sind nicht zulässig (allenfalls Kopien komplizierter Bilder), Rechnerausdrucke sind nur zulässig, wenn **alle** Protokolle (einschließlich der Berechnungen und graphischen Darstellungen) in einheitlicher Form auf dem Rechner erstellt werden.

Bilder, grafische Darstellungen, Diagramme u.s.w. erhalten eine **Bildunterschrift** die den Inhalt beschreibt und werden fortlaufend nummeriert.

Alle verwendeten Hilfsmittel müssen angegeben werden. Sie sind in eckigen Klammern (z.B. [1]) anzugeben!

3 Versuchsaufbau

Die Versuchsanordnung und/oder elektrische Schaltung ist anhand einer sauberen Skizze oder eines Fotos mit Bezeichnung aller Bauteile, Messgeräte und Eintragung der Messgrößen darzustellen und zu beschreiben.

Die Abschnitte 1 bis 3 müssen zu Praktikumsbeginn im Protokollbuch schriftlich vorliegen, andernfalls erfolgt keine Zulassung zum Versuch!

4 Messergebnisse

Dieser Abschnitt enthält

- sämtliche im Verlaufe des Experiments erfassten Messergebnisse, vorzugsweise in **Tabellenform**, sowie deren **Messunsicherheiten** (systematische Abweichungen, Einstell- und Ablesesicherheiten);
- die **Berechnungen** der geforderten Größen einschließlich der Nebenrechnungen (der Rechengang muss klar ersichtlich sein) und
- die **graphischen Darstellungen**.

Tabellen sind linksbündig anzuordnen, rechts bleibt Freiraum für zusätzliche Spalten. Im Tabellenkopf sind Größe und Einheit anzugeben, z. B. in der Form I/mA .

Tabellen erhalten eine **Tabellenüberschrift** die den Inhalt der Tabelle beschreibt und werden fortlaufend nummeriert. z.B.:

Tabelle 1: Messung der Zeit t für 10 Schwingungen eines Fadenpendels zur Bestimmung der Periodendauer T bei einer Pendellänge $l = 80 \text{ cm}$ und einer Auslenkung $\alpha = 5^\circ$

Messung	Zeit t in s	Periodendauer T in s
1		
.....		
10		

Bleistiftaufzeichnungen sind nicht zulässig. Falsche Eintragungen dürfen nicht gelöscht oder überschrieben werden. Sie sind unter Zufügung eines Kommentars zu streichen und an anderer Stelle neu zu schreiben.

5 Messunsicherheiten

Die Messunsicherheit jeder im Versuch geforderten Ergebnisgröße ist entsprechend DIN 1319 Teil 3, 4 und den in der Praktikumseinführung und in Abschnitt 6 dieser Anleitung gegebenen Hinweisen zu bestimmen. Dazu gehören

- die Herleitung des Fortpflanzungsgesetzes der Messunsicherheiten,
- die Angabe der Beiträge einzelner Messgrößen zur Gesamt-Unsicherheit und
- deren Berechnung. Sie ist auf max. 2 Ziffern ungleich Null zu runden.

6 Zusammenfassung und Diskussion

Hier werden in Satzform die Messergebnisse auf **physikalischer Sicht** gewertet. Dazu gehört insbesondere die **Interpretation der grafischen Auswertung** der Messwerte.

Weiterhin können Aussagen zur Messmethode (auch im Vergleich zu anderen Messverfahren), zur Genauigkeit der Messergebnisse im **Vergleich zu Literaturwerten** und zu Ursachen von Messabweichungen und deren Vermeidung getroffen werden

Dieser Abschnitt enthält weiterhin die Zusammenstellung sämtlicher gerundeter Versuchsergebnisse einschließlich ihrer Messunsicherheiten, z. B. in der Form

$$\text{Diodenstrom } I = (22,7 \pm 1,6) \text{ mA}$$

7 Literatur

- [1] Autor, Titel, Verlag, Auflage (Jahr), Seite
- [2] Vorlesungsmitschrift Grundkurs Physik 1.Semester
- [3] Internet www.physik.de/mechanik/schwingungen, Autor, Datum
- [4]

Für die Protokollgestaltung sind u. a. folgende **Deutsche Normen zu berücksichtigen:**

DIN 461	Graphische Darstellung in Koordinatensystemen
DIN 1301	Einheiten; Einheitennamen, Einheitenzeichen
DIN1313	Physikalische Größen und Gleichungen; Begriffe, Schreibweisen
DIN 1319	Grundbegriffe der Messtechnik
DIN 1338	Formelschreibweise und Formelsatz
DIN 1421	Gliederung und Benummerung von Texten
DIN 1422	Veröffentlichungen aus Wissenschaft, Technik ...; Gestaltung von Manuskripten usw.
DIN 1505	Titelangaben von Dokumenten; Zitierregeln
DIN 6774	Technische Zeichnungen; Ausführungsregeln
DIN 55 301	Gestaltung statistischer Tabellen
DIN 55 302	Statistische Auswertverfahren; Häufigkeitsverteilung, ...

Graphische Darstellung in Koordinatensystemen (nach DIN 461)

Mittels Rechner erstellte Darstellungen sind zulässig, sofern sie den nachfolgenden Anforderungen genügen. Die Diagramme (Format in der Regel $\leq$ DIN A5) sind aufrecht in den laufenden Text einzukleben und mit Bildunterschrift und Legende zu versehen.

- Richtungspfeile sind außerhalb des Diagramms etwa in Skalenmitte anzubringen (siehe Bild), die Bezeichnungen der dargestellten Größen und deren Einheiten stehen an den Pfeilwurzeln.
- Zehnerpotenzen sind nicht an jedem Zahlenwert, sondern nur einmal vor der Einheit anzuschreiben.
- Die Skalierung ist so festzulegen, dass die darzustellende Kurve in ihrem wesentlichen Teil einen Anstieg von etwa 45° hat und beide Skalenbereiche ausfüllt. Als Teilungswerte sind Potenzen von 1, 2 oder 5 zu wählen.
- Die Messpunkte sind stets deutlich und für jede Kurve unterschiedlich (z.B. $\times$, $+$, $\circ$) zu kennzeichnen, die Kurvenparameter sind in der Bildlegende aufzuführen.
- Kurven sind als glatte Ausgleichskurven und mit Kurvenlineal zu zeichnen.

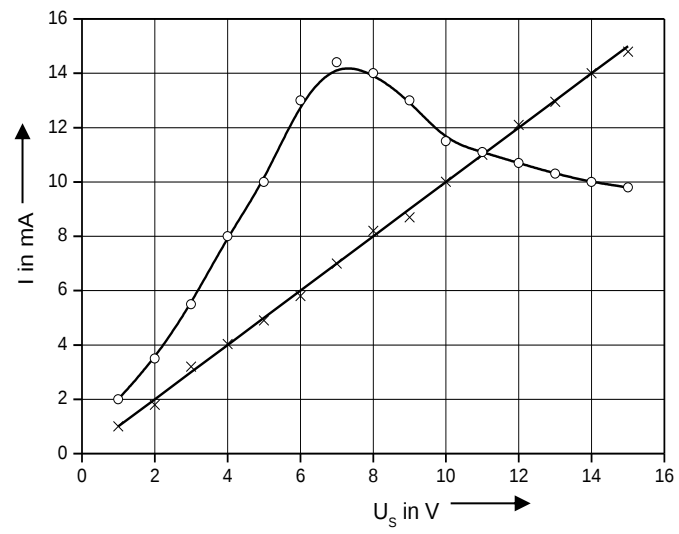


Bild 1: Strom-Spannungs-Charakteristik unbekannter Widerstände (o - Widerstand Nr. 1; x – Widerstand Nr. 4)

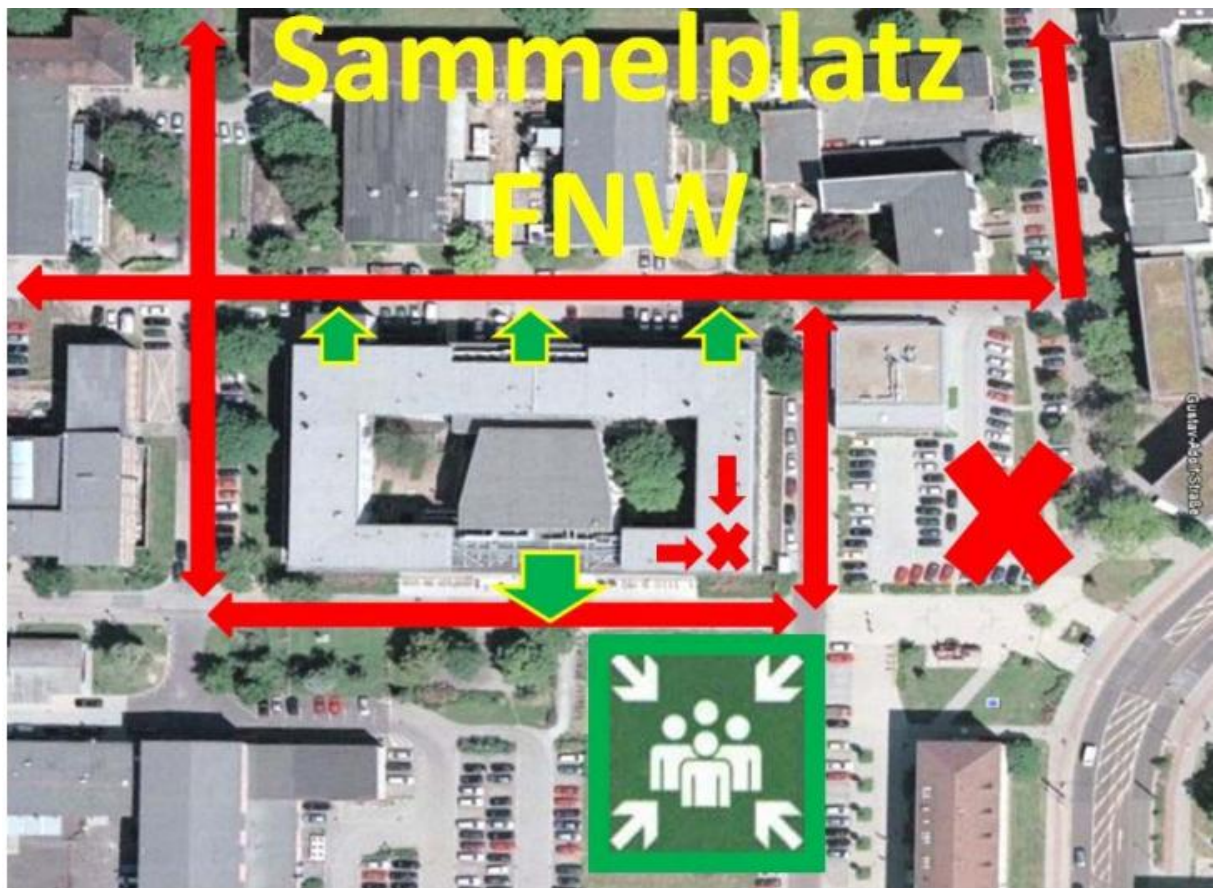
3. Verhalten im Praktikum, Arbeits- und Brandschutz

3.1 Allgemeine Hinweise

- Die Praktikanten haben sich so zu verhalten, dass Personen nicht gefährdet und Geräte und Einrichtungen nicht beschädigt werden. Dies erfordert Disziplin und Rücksichtnahme. Bei grob fahrlässiger oder vorsätzlicher Sachbeschädigung werden die Praktikanten haftbar gemacht!
- Das Hantieren an Geräten und mit physikalisch-chemischen versuchsbezogenen Mitteln, mit deren Bedienung, Handhabung und Verwendung der Praktikant nicht vertraut ist oder die nicht zum Arbeitsplatz gehören, ist nicht gestattet.
- Geräte die eine Stromversorgung erfordern dürfen ausschließlich an den Steckdosen der Arbeitstische betrieben werden. Die Steckdosen in den Fensterbankkanälen und an den Wänden sind für diesen Zweck nicht zugelassen.
- Ausgelegte Bedienungsanleitungen, Inventarverzeichnisse sowie Skalen, Bildschirme u. ä. dürfen nicht durch Markieren, Beschriften usw. beschädigt werden.
- Das Rauchen sowie der Verzehr von Speisen oder Getränken sind in den Praktikumsräumen nicht gestattet.
- Bei Notfällen, Verletzungen u. ä. ist der Praktikumbetreuer zu verständigen und Hilfe über folgende Notrufnummern anzufordern:

	Universität Magdeburg		Stadtanschluss	
Brand, Havarie Lebensgefahr	Wachdienst G09	11150	Feuerwehr, Notarzt	0-112
Gewalttätigkeit	Sicherheitsdienst	54444	Polizei	0-110

- Entstehungsbrände sind nach Möglichkeit von mindestens 2 Personen mit den in den Praktikumsräumen und Korridoren bereitstehenden Handfeuerlöschern zu bekämpfen.
- Bei Notfällen unter Spannung / Strom sind die elektrischen Geräte und Anlagen sofort durch Betätigung des **roten Hauptschalters** am Arbeitsplatz außer Betrieb zu setzen.
- Die Warmwasserentnahmestellen liefern Wasser mit Temperaturen von bis zu 90°C. Es besteht Verbrühungsgefahr! Wird Wasser geringerer Temperatur benötigt, ist deshalb immer erst der Kaltwasserhahn zu öffnen.
- Bei Auslösung eines Hausalarms (Feueralarm, Gasalarm, ...) ist das Gebäude über die ausgeschilderten Fluchtwege schnellstmöglich zu verlassen und der Sammelplatz auf der Südseite des Gebäudes aufzusuchen.



3.2 Umgang mit elektrischen Geräten und Anlagen

- Vor Inbetriebnahme elektrischer Messgeräte hat sich der Praktikant mit deren Funktionsweise und Bedienung anhand ausliegender Bedienungsanleitungen vertraut zu machen.
- Die Versuche sind Laboraufbauten und bieten nicht alle eine vollständige Berührungssicherheit. Spannungsführende Metallteile sind so zu installieren, dass eine Berührung während des Experiments ausgeschlossen ist. Provisorische Leitungsverbindungen, die nicht über einen Buchse-Stecker-Kontakt führen, sind unzulässig.
- **Alle elektrischen Schaltungen sind vor dem Einschalten der Spannung von einem Praktikumsassistenten überprüfen zu lassen.**
- Das Berühren von Leitern, die Spannungen über 42 V führen, kann lebensgefährliche Schädigungen hervorrufen. Bei Messungen an Schaltungen mit Spannungen über 42 V ist daher besondere Vorsicht geboten! Auf- und Abbau sowie Veränderungen haben stets in spannungslosem Zustand zu erfolgen.
- Defekte Geräte, Messleitungen und Kabel sind dem Praktikumsbetreuer unverzüglich zu melden und aus dem Verkehr zu ziehen. Die selbständige Reparatur und die Abnahme von Schutzverkleidungen sind unzulässig.
- Elektrische Heizgeräte sind so aufzustellen, dass sich benachbarte Gegenstände (z. B. Kabel) nicht erhitzen oder entzünden können.
- Bei Störungen oder Notfällen ist die Versuchsanordnung sofort von der Spannungsquelle zu trennen (Netzschalter ausschalten, Netzstecker ziehen, Hauptschalter abschalten).

- **Digitalmultimeter** messen Gleich- und Wechselspannungen (DC, AC) sowie -ströme und Widerstände; die Messwerte werden digital angezeigt. Der Eingang „+“ wird gelegentlich mit „H“ (high), der Eingang „-“ mit „L“ (low) oder „COM“ (common) bezeichnet.

Achtung! Der an den Strommess-Buchsen bzw. in der Bedienungsanleitung angegebene Maximalstrom darf keinesfalls überschritten werden!

- Der Eingangswiderstand bei Spannungsmessung ist groß ($\geq 10 \text{ MOhm}$) gegen die im Praktikum üblichen Schaltungswiderstände. Der Strom wird über den Spannungsabfall an einem Messwiderstand im Gerät gemessen; der dadurch verursachte Innenwiderstand des Geräts ist erforderlichenfalls zu berücksichtigen. Zur Messunsicherheit von Digitalmessgeräten siehe Abschnitt 6.1.
- **Analoge Vielfachmesser** und andere Zeigermessinstrumente tragen auf der Skale Symbole zur Kennzeichnung des Messwerks, der Gebrauchslage und der Genauigkeitsklasse bzw. des Anzeige-fehlers (siehe Bild 2). Bei DC-Messungen ist die Polarität zu beachten. Mit dem größten Messbe-reich beginnend, ist auf den Bereich herabzuschalten, in dem Zeigerausschläge in der zweiten Ska-lenhälfte zu erwarten sind (geringster relativer Fehler).
- Die Innenwiderstände sind den Angaben auf der Geräterückseite zu entnehmen und bei der Aus-wertung der Messungen zu berücksichtigen.

3.3 Umgang mit nichtelektrischen Gerätschaften

- **Mechanische Feinwaagen**

sind hochempfindliche Messgeräte und entsprechend zu handhaben. Die Massen auf den Waagscha-len dürfen nur in arretiertem Zustand verändert werden. Das Auflegen erfolgt mit Pinzette durch die Seitentür des Glasgehäuses. Schaltwerke sind **behutsam zu bedienen** und nach Abschluss der Wägung wieder auf Null zu stellen. Die Waage ist im sauberen, arretierten Zustand zu hinterlassen.

- **Glasgeräte**

und Glas-Dewargefäße sind so zu behandeln, dass Bruch durch Stoß oder plötzliche Temperaturände-rung vermieden wird. Glasbruch gehört nicht in den Papierkorb, sondern in die dafür vorgesehenen gekennzeichneten Behälter!

- **Glasthermometer**

sind stark bruchempfindlich, Quecksilberdämpfe sind hochgiftig. Thermometer sind daher vorsichtig zu behandeln, behutsam abzulegen und dürfen keinesfalls als Rührer benutzt werden.

Thermometerbruch ist sofort dem Praktikumsbetreuer zu melden. Ausgelaufenes Quecksilber ist bis zum letzten Tröpfchen zunächst mit der Quecksilberzange, anschließend mit dem Quecksilber-Samm-ler (Schwamm in Dose) in dem dafür vorgesehenen wassergefüllten Glas zu sammeln; Quecksilberreste in Ritzen oder Fugen sind mit Zinkstaub unschädlich zu machen.

- **Druckflaschen**

sind, durch Kette o. ä. gesichert, so aufzustellen, dass sie nicht umfallen können. Die Flaschen- und Reduzierventile dürfen erst nach Unterweisung durch den Praktikumsassistenten bedient werden. Nach der Gasentnahme ist das Flaschenventil zu schließen. Weitere Eingriffe sind nicht gestattet.

- **Laser**

sind so aufzustellen, dass der (direkte oder reflektierte) Strahl ohne Passieren anderer Arbeitsplätze auf einen Schirm oder die Zimmerwand fällt. Die Erhöhung der Laser-Ausgangsleistung durch Aus-schwenken des Graufilters mittels Handschalters (Drahtauslöser) ist nur kurzzeitig erlaubt.

Nicht in den direkten oder reflektierten Laserstrahl blicken! Die Blendungsgrenze des ins Auge fallenden Lichtes darf keinesfalls überschritten werden.

- **Optische Bauelemente** (Spiegel, Linsen u. ä.)

sind so zu behandeln, dass Verschmutzung und Kratzer auf den Oberflächen vermieden werden. Zur Reinigung von Linsen und Glasplatten sind fusselfreie Papiertücher (z. B. „Kimwipes“) zu benutzen. Beschichtete Linsenoberflächen dürfen nur mit einem weichen Optik-Pinsel von Staub befreit werden.

Oberflächenspiegel dürfen keinesfalls berührt oder geputzt werden; Schutzkappen sind nach der Messung sofort wieder aufzusetzen.

- **Objektmikrometer**

sind auf Glasträger aufgebrachte, 1 mm lange Skalen mit einem Teilstrichabstand von 0,01 mm. Die Suche der Skale ist stets mit schwach vergrößernden Objektiven zu beginnen, die Scharfeinstellung ist durch Heben (nicht Senken) des Mikroskoptubus vorzunehmen, um das Objektmikrometer nicht zu zerdrücken.

Mit dem **Apertometer** ist in gleicher Weise zu verfahren, um die Oberfläche des Spiegelplättchens nicht zu beschädigen.

- **Zählrohre**

bestehen aus dünnem Glas, haben sehr dünnwandige Eintrittsfenster und werden mit Hochspannung betrieben. Der Umgang mit ihnen erfordert größte Vorsicht, Berührung ist zu vermeiden.

4. Literaturhinweise

Zur Vorbereitung auf Versuche des Physikalischen Grundpraktikums sind insbesondere die nachfolgend genannten Praktikums- und Lehrbücher geeignet (spezielle Literaturhinweise und Seitenangaben finden sich in den Versuchsanleitungen).

Auf den Webseiten des Praktikums sind Handreichungen zur Erarbeitung der theoretischen Grundlagen ausgewählter Praktikumsexperimente zu finden. Die Zugangsdaten werden am ersten Praktikums-tag vergeben.

4.1 Praktikumsbücher

Walcher, W.	Praktikum der Physik B. G. Teubner Stuttgart
Ilberg, W., Kröttsch, M., Geschke, D.	Physikalisches Praktikum B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig
Becker, J., Jodl, H.-J.	Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure VDI-Verlag GmbH Düsseldorf
Portis, A. M., Young, H. D.	Physik und Experiment Vieweg Verlagsgesellschaft mbH Braunschweig, Wiesbaden
Kohlrausch, F.	Praktische Physik Band 1-3 B. G. Teubner Stuttgart

4.2 Lehrbücher

Stroppe H.	Physik Fachbuchverlag Leipzig, Köln
Gerthsen, Ch., Kneser, H. O., Vogel, H.	Physik Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
Demtröder, W.	Experimentalphysik 1 Mechanik und Wärme Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
Bergmann, L., Schaefer, Cl.	Lehrbuch der Experimentalphysik Band I: Mechanik, Akustik, Wärme Band II: Elektrizität und Magnetismus Band III: Optik Walter de Gruyter Berlin, New York
Hering, E., Martin, R., Stohrer, M.	Physik für Ingenieure VDI-Verlag GmbH Düsseldorf
Eichler, J.	Physik Grundlagen für das Ingenieurstudium Vieweg Verlagsgesellschaft mbH Braunschweig, Wiesbaden

und andere Lehrbücher der Experimentalphysik.

5. Bestimmung der Messunsicherheit (Extrakt nach DIN 1319)

Für jede gemäß Aufgabenstellung geforderte Ergebnisgröße ist deren Messunsicherheit anzugeben!

5.1 Anzahl der Messungen

Zur Aufnahme einer funktionalen Abhängigkeit oder bei geforderter „mehrmaliger“ Messung sind mindestens 10 Einzelmessungen durchzuführen, sofern keine davon abweichende Anzahl angegeben ist. Bei mehrmaliger Messung sind die zufälligen Abweichungen nach 5.3 zu berechnen.

5.2 Messunsicherheit bei weniger als 5 Messungen

Fehlt die Forderung nach „mehrmaliger“ Messung, sind 2 Messungen (Messung und Kontrollmessung) ausreichend. Die zufälligen Abweichungen sind nach 5.2 abzuschätzen.

Die unbekannten **systematischen Abweichungen** werden aus den Eich- oder Verkehrsfehlergrenzen der Messgeräte gemäß Eichordnung, DIN- oder Hersteller-Angaben ermittelt (siehe Abschnitt 6, Bedienungsanleitungen und Aushänge im Praktikumsraum). Falls keine Angaben vorliegen, werden sie als gegenüber den zufälligen Abweichungen vernachlässigbar angenommen.

Die **zufälligen Abweichungen** werden

- bei analogen Messgeräten aus den Interpolations- und/oder Ableseunsicherheiten abgeschätzt ($\geq 0,5 \cdot \text{Skalenteilungswert}$),
- bei digitalen Messgeräten aus den die systematischen Abweichungen übersteigenden zeitlichen Schwankungen des Anzeigewertes abgeschätzt.

Systematische und zufällige Abweichungen der einzelnen Messgrößen werden addiert, die Größtunsicherheit der Ergebnisgröße wird nach dem linearen Fortpflanzungsgesetz berechnet. Die einzelnen Summanden sind abzuleiten sowie formel- und zahlenwertmäßig im Protokoll festzuhalten.

5.3 Messunsicherheit bei mehrmaliger Messung

Die zufällige Komponente der Messunsicherheit (Vertrauensbereich) $\Delta\bar{x}_{\text{zuf}}$ des Mittelwerts $\bar{x}$ wird aus der **empirischen Standardabweichung** σ_{n-1} nach

$$(1) \quad \Delta\bar{x}_{\text{zuf}} = t_V \cdot \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

bestimmt. Der Students-Faktor t_V hängt sowohl vom gewählten Vertrauensniveau V als auch von der Anzahl n der Messungen gemäß Tabelle 1 ab. Das gewählte **Vertrauensniveau ist stets anzugeben!**

Die Angaben des Praktikumsrechners beziehen sich auf ein Vertrauensniveau von 99,73%; bei der häuslichen Auswertung kann ein Niveau von 95% gewählt werden (Empfehlung der Int. Standard. Org., ISO 3534).

Tabelle 1: Students - Faktor t_V (nach DIN 1319 Teil 3)			
Zahl n der Messungen	Vertrauensniveau V in %		
	95 %	99 %	99,73 %
3	4,30	9,93	19,21
5	2,78	4,60	6,62
6	2,57	4,03	5,51
8	2,37	3,50	4,53
10	2,26	3,25	4,09
50	2,01	2,68	3,16
> 200	1,96	2,58	3,00

Gemeinsam mit der nach 6.2 zu bestimmenden systematischen Komponente $\Delta\bar{x}_{\text{sys}}$ ergibt sich die Gesamtunsicherheit der Messgröße zu

$$\Delta\bar{x} = \Delta\bar{x}_{\text{zuf}} + \Delta\bar{x}_{\text{sys}} \quad (2)$$

Die Größtunsicherheit der Ergebnisgröße wird wieder nach dem linearen Fortpflanzungsgesetz berechnet. Ist die systematische Abweichung gegenüber der zufälligen vernachlässigbar klein, wird die Unsicherheit nach dem quadratischen (Gaußschen) Fortpflanzungsgesetz berechnet.

5.4 Messunsicherheit bei funktionalen Abhängigkeiten $y = f(x)$

Für je ein Messwertepaar x, y am unteren und oberen Ende des Werte- bzw. Kurvenbereichs sind die Messunsicherheiten nach 6.2 zu ermitteln und als Balken oder Ellipsen an die Kurvenpunkte anzutragen.

5.5 Messunsicherheit durch lineare Regression berechneter Größen

Die Messunsicherheit durch lineare Regression zu bestimmender Größen errechnet sich aus der Unsicherheit ΔB der Steigung B der Regressionsgeraden, die

- bei Nutzung des Praktikumsprogramms (vgl. 3.4) der vom Rechner ausgegebenen Unsicherheit ΔB entspricht
- oder aus dem (z. B. mittels Taschenrechner) berechneten Korrelationskoeffizienten r und der Steigung B nach der Beziehung (3) (vgl. Ilberg, W. u. a., S. 30)

$$\Delta B = t_{V,n-1} \sqrt{\frac{1}{n-2} \frac{B^2(1-r^2)}{r^2}} \quad (3)$$

- oder näherungsweise (z. B. bei graphischer Regression) aus der größten auftretenden Abweichung Δy eines Messpunktes von der Ausgleichsgeraden nach der Beziehung (4) berechnet wird:

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{2 \Delta y}{y_2 - y_1} \quad (4)$$

y_1, y_2 - obere und untere Grenze des y -Messbereichs.

6. Eich- und Verkehrsfehlergrenzen von Messgeräten und Maßverkörperungen

6.1 Digitale elektrische Messgeräte

Bei digitalen Messgeräten setzt sich die systematische Abweichung aus mindestens 2 Anteilen zusammen:

- Digitalisierungsfehler, angegeben in digit (kleinster Ziffernschritt);
- Abweichungen infolge Fehler der Baugruppen des Geräts, angegeben in % des Messwerts oder/und des Messbereichs-Endwerts. Die Angaben sind den Bedienungsanleitungen der digitalen Messgeräte zu entnehmen. Fehlen diese, ist näherungsweise mit 3 digit zu rechnen.

Beispiel:

Tabelle 2: Digitalvoltmeter G-1002.500 – Grundfehler in % des Messwerts + digit					
Messbereich	DC - U	DC - I	AC - U	AC - I	R
0,2; 2	0,1% + 2	0,4% + 3	0,5% + 5	0,8% + 5	0,5% + 3
20 - 2000	0,2% + 2	0,4% + 3	0,5% + 5	0,8% + 5	0,5% + 3
Shunt 10 A		1,0% + 2		1,5% + 5	

6.2 Analoge elektrische Messgeräte

Die auf der Skale analoger elektrischer Messgeräte angegebene Genauigkeitsklasse (häufig 1,5) gibt den Grundfehler in % an, bezogen auf den Messbereichs-Endwert oder auf die Skalenlänge (siehe Symbole in Bild 2).

6.3 Oszilloskope

Die Fehlergrenzen der kalibrierten Ablenkoeffizienten sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tab. 3: Fehler der Ablenkempfindlichkeit von Oszilloskopen	
Service-Oszilloskop VOLTcraft 2040	3 %
HAMEG-Oszilloskop HM 203-7	3 %
HAMEG-Oszilloskop HM 400	3 % bei 5 mV/DIV – 20V/DIV 5% bei 1mV/DIV – 2mV/DIV
Einstrahl-Oszilloskop EO 174A	5 %

6.4 Tonfrequenz-RC-Generator GF 22

Tab. 4: Frequenzfehler des Tongenerators	
Frequenzbereich	Grundfehler der Frequenz
2 Hz - 20 Hz	5 %
20 Hz - 20 kHz	1,5 %

6.5 Magnetfeld-Messgerät Halltest Typ 845

Unsicherheit der Eichflussdichte: 1 %

Messunsicherheit nach Eichung: 1,5 %

so dass mit einem Gesamtfehler von 2,5 % gerechnet werden kann.

6.6 Energie- und Leistungsmesser

Fehler bei

- Energie- und Leistungsmessung: 5 % des Messwerts + 1 digit
- Messung des Phasenwinkels: 5 % des Messwerts + 2 digit
- Zeitmessung: 0,2 % des Messwerts + 1 digit

6.7 Längenmessgeräte (Eichordnung, Anlage 1; DIN 2268)

a) Längenmaße

Die Eichfehlergrenzen berechnen sich zu

$$\Delta l = \pm(a + b \cdot l/m) \text{ mm}$$

l - Messlänge in m

aus den der Genauigkeitsklasse entsprechenden Werten von a und b (siehe Tabelle 5). Die Verkehrsfehlergrenzen sind doppelt so groß.

Tabelle 5: Genauigkeitsklassen von Längenmaßen			
Genauigkeits- klasse	a	b	Beispiele
I	0,1	0,1	Maßstäbe aus Metall, Glas; Messbänder aus Stahl
II	0,3	0,2	Maßstäbe, Messbänder aus Metall, Kunststoff
III	0,6	0,4	Maßstäbe aus Holz, Kunststoff; Messbänder aus Kunststoff

Fehlen Angaben zur Genauigkeitsklasse auf dem Maßstab, ist die jeweils höchste (ungenaueste) Klasse anzunehmen.

b) Messschieber, Messschrauben, Messuhren

Tabelle 6: Eichfehlergrenzen von Längenmessgeräten	
Gerätetyp	Eichfehlergrenze Δl
Messschieber mit Messbereichen bis 500 mm	$\pm 0,1 \text{ mm}$
Messschrauben mit Messbereichen bis 100 mm	$\pm 0,01 \text{ mm}$
Messuhren mit Messbereichen bis 10 mm	$\pm 0,02 \text{ mm}$

6.8 Volumenmessgeräte für Laborzwecke (Eichordnung, Anlage 12)

a) Messzylinder mit Skale (DIN 12680)

- Eichfehlergrenze bei Justierung auf Ausguss $\Delta V = \pm 1 \cdot \text{Skalenteilungswert}$
- Eichfehlergrenze bei Justierung auf Einguss $\Delta V = \pm 0,5 \cdot \text{Skalenteilungswert}$

Der Meniskus ist so einzustellen, dass sein tiefster Punkt und der obere Rand des Teilstrichs in einer Ebene liegen.

b) Messpipetten mit Skale, auf Ablauf justiert

Tab. 7: Eichfehler von Messpipetten	
V/ml	$\Delta V/\text{ml}$
0,1; 0,2	0,003
0,5	0,005
1	0,007
2	0,01
5	0,03
10	0,05
20; 25	0,1

c) Büretten, auf Ablauf justiert

Tab. 8: Eichfehler von Büretten	
V/ml	$\Delta V/\text{ml}$
1; 2; 5	0,01
10	0,02
25	0,03
50	0,05
100	0,08
150	0,12
250	0,2

d) Messgläser, Messeimer (Eichordnung, Anlage 4)

Eichfehlergrenze
 $\Delta V = \pm 0,5 \% \text{ des Volumens}$

6.9 Massestücke (Eichordnung, Anlage 8)

a) Massestücke, Klasse M 1 in gemeinsamem Kasten

Tabelle 9: Massentoleranz von Präzisions-Massestücken			
m/mg	$\pm \Delta m/\text{mg}$	m/g	$\pm \Delta m/\text{mg}$
≤ 5	0,20	1	1,0
10	0,25	2	1,2
20	0,30	5	1,5
50	0,40	10	2,0
100	0,50	20	2,5
200	0,60	50	3,0
500	0,80	100	5
		200	10
		500	25

b) Zylindrische Einzelmassestücke der mittleren Fehlergrenzenklasse

Tabelle 10: Massentoleranz von Einzel- Massestücken			
m/g	$+ \Delta m/\text{mg}$	m/kg	$+ \Delta m/\text{mg}$
1	5	1	200
2	5	2	400
5	10	5	800
10	20	10	1600
20	20		
50	30		
100	30		
200	50		
500	100		

c) Hakenmassestücke: Massentoleranz 1 %

6.10 Feinwaagen

Tabelle 11: Messunsicherheit von Feinwaagen	
Waagentyp	Messunsicherheit
Elektronische Präzisionswaagen (Sartorius)	= Anzeigegenauigkeit = 1 digit
Mechanische Einschalen-Schaltgewichtswaage AV IV S/3	1 mg

6.11 Stoppuhren (Eichordnung, Anlage 19)

Tabelle 12: Messunsicherheit von Stoppuhren	
Uhrentyp	Messunsicherheit Δt (t - Messzeit)
Mechanische Stoppuhren	1 Skalenteilungswert + $5 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Elektronische Stoppuhren	1 digit + $5 \cdot 10^{-4} \cdot t$

6.12 Flüssigkeits-Glasthermometer (Eichordnung, Anlage 14)

- a) Füllung mit nichtbenetzender Flüssigkeit (z. B. Quecksilber)

Tabelle 13: Messunsicherheit von Flüssigkeits-Glasthermometern				
Temperaturbereich °C	Eichfehlergrenzen in K beim Teilungswert			
	0,1	0,2	0,5	1
< -10	0,3	0,4	0,5 (1)	1 (2)
-10 bis +110	0,2	0,3	0,5 (1)	1 (2)
> 110 bis 210		0,4	0,5	1 (3)
> 210 bis 410			1	2

- b) Bei Füllung mit benetzender Flüssigkeit (z. B. Alkohol) gelten die Klammerwerte.
- c) Bei den Laborthermometern des Thermometerwerks Geraberg mit einem Nennmessbereich 0 bis 100°C und einem Skalenteilungswert von 0,1 K ist der Fehler nachstehender Tabelle zu entnehmen:

Temperaturbereich [°C]	Fehler [K]
0 bis 60	0,15
60 bis 100	0,25

6.13 Digitalthermometer

Tabelle 14: Messunsicherheit von Digitalthermometern	
Thermometertyp	Messunsicherheit der Temperatur ΔT
DTM 2130 (Thermometerwerk Geraberg)	0,06 K + 0,02 % des Messwerts + 1 digit
Doppel-Digitalthermometer (Firma Schwille)	0,2 K für Temperaturen bis 100°C 0,5 K für Temperaturen über 100°C
Vierfach-Temperaturmessgerät (Firma Leybold)	0,2 K für Temperaturen bis 100°C 0,2 % des Messwerts für Temperaturen über 100°C
Vierfach-Temperaturmessgerät (Firma Phywe)	0,03 K + 0,6 % des Messwerts + 1 digit

6.14 Manometer

a) Zeigermanometer (Eichordnung, Anlage 16)

Die Verkehrsfehlergrenze in % des Skalenendwertes wird durch die Genauigkeitsklasse gekennzeichnet, die auf dem Zifferblatt angegeben ist (z. B. 1 % bei Genauigkeitsklasse 1,0).

b) Digitalmanometer

Tabelle 15: Messunsicherheit von Digitalmanometern	
Manometertyp	Messunsicherheit des Druckes Δp
Digitalmanometer M+S 1010	1,5 % des Messbereichs-endwertes
Differenzdruck-Manometer DP 200 (MECOTEC)	0,25 mbar + 1 digit im Bereich 100 mbar 0,05 mbar + 1 digit im Bereich 10 mbar
Digital-Taschenbarometer GPB1300 (Greisinger)	4 mbar